

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/320777889>

Proposta de Rede de Petri Aplicada a Estimador de Qualidade de Enlace LPA2v

Preprint · November 2016

CITATIONS

0

READS

36

2 authors:



[Arnaldo Carvalho](#)

Federal Institute of Education, Science and Technology of São Paulo

26 PUBLICATIONS 8 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

[Mauricio Blos Phd](#)

Universidade Santa Cecília

55 PUBLICATIONS 234 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



"PAL2v Filter" [View project](#)



Link Quality Estimator with PAL [View project](#)

Proposta de Rede de Petri Aplicada a Estimador de Qualidade de Enlace LPA2v

Arnaldo de Carvalho Junior^{a,b}, Mauricio Fontoura Blos^b

^aIFSP, Federal Institute of Education, Technology and Science of São Paulo, Cubatão, Brazil.

^bLaboratory of Applied Paraconsistent Logic, Santa Cecília University – UNISANTA. Santos - SP, Brazil.

RESUMO

É apresentado neste documento uma Rede de Petri para o processo de geração de um estimador de qualidade de enlace – EQE, utilizando filtro e algoritmo de Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de dois valores – LPA2v.

Palavras-chave: Zigbee, Rede de Sensores Sem Fio, Redes de Petri, EQE-LPA2v.

Proposal of Petri Net Applied To A PAL2v Link Quality Estimator

ABSTRACT

It's presented in this paper a Petri Net for the process of the calculation of a Link Quality Estimator (LQE) using a filter and algorithm of Paraconsistent Annotated Logic with notation of two values – PAL2v.

Keywords: Zigbee, Wireless Sensor Network, Petri Net PAL2v-LQE.

1- INTRODUÇÃO

A demanda por sistemas conectados, efeito da revolução tecnológica conhecida como “Internet das Coisas” (*IoT-Industrial Internet of Things*), é possível graças ao avanço da microeletrônica que permitiu sistemas com maior poder de processamento e menor consumo de energia, aliado a sistemas de análise de grandes conjuntos de dados [1]. Agilidade de instalação e integração aos processos de negócio impulsionaram a criação de padrões para rede de sensores sem fio – *WSN (Wireless Sensor Network)* [2], como Zigbee, baseado no IEEE 802.15.4, que especifica redes sem fio de área pessoal de baixa taxa – *LR-WPAN (Low Rate-Wireless Personal Area Network)*, faixa de 2400-2483.5 MHz, até 250kbps e espalhamento espectral de sequência direta – *DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)* até 16 portadoras.

A estimativa da qualidade do enlace é importante em redes de sensores sem fio de baixo quanto menor potência necessária para a transmissão dos dados, menor a taxa de retransmissões por falhas e menor o recálculo e mudança de rotas, maior a durabilidade das baterias [3].

Em função da baixa capacidade de processamento aliada a necessidade de baixo consumo, o estimador da qualidade do enlace deve ser simples, porém confiável, obtido à partir de parâmetros disponíveis e de fácil acesso no sensor [3].

O padrão IEEE 802.15.4 disponibiliza a Indicação de Intensidade de Sinal Recebido - *RSSI (Received Signal Strength Indication)* e Indicação de Qualidade do Enlace – *LQI (Link Quality Indication)*, compostos cada um de 1 Byte (8 bits) disponíveis a cada transmissão de dados [5].

O RSSI é uma medida bruta instantânea da potência em uma determinada banda, antes do processo de demodulação e pode apresentar valores errôneos em função da captação de interferentes, outros transmissores, efeito de multi-percurso da propagação, etc [5].

O LQI, métrica prevista no padrão 802.15.4 é baseado na facilidade de demodulação dos símbolos (chip error rate). O LQI é um indicador simples no processo de demodulação do sinal digital e exhibe alta

correlação com o taxa de recebimento de pacotes – PRR (Packet Received Rate). Um valor de LQI médio pode ser mais útil do que um valor instantâneo para o cálculo da qualidade média do enlace [5].

A Lógica Paraconsistente trabalha com situações em que tanto uma sentença como sua negação podem ser verdadeiras. [6] Além dos valores verdadeiro e falso, uma proposição pode ainda ter outros valores, tais como inconsistentes e indeterminados. Em fórmulas proposicionais de Paraconsistent Annotated Logic (PAL) e valores de anotações são registrados em uma rede finita [7]. Quando múltiplas inferências têm inconsistências, a Lógica Anotada Paraconsistente com anotação de dois valores (PAL2v) tem sido adequada, usando o conhecimento de evidências para ajudar a resolver conflitos [7,8].

O Nó de Análise Paraconsistente (NAP) é formado por um conjunto de algoritmos cuja origem está na interpretação da rede da Lógica Paraconsistente. Este nó é o bloco básico da célula neural artificial Paraconsistent (CNAP). Um tipo de CNAP é a Célula Neural Artificial Paraconsistente de Aprendizagem (CNAPap) que pode ser usado para reconhecer padrões [10].

Uma rede de Petri é uma das várias representações matemáticas para sistemas distribuídos discretos [11]. Este artigo apresenta o modelamento de uma Rede de Petri para a coleta, filtragem e cálculo de um Estimador de Qualidade de Enlace, utilizando a Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de 2 valores.

2- REVISÃO LITERATURA

Em estatística, o filtro de Kalman é um método matemático criado por Rudolf Kalman. Seu propósito é utilizar medições de grandezas realizadas ao longo do tempo (contaminadas com ruído e outras incertezas) e gerar resultados que tendam a se aproximar dos valores reais das grandezas medidas e valores associados. O filtro de Kalman produz estimativas dos valores reais de grandezas medidas e valores associados predizendo um valor, estimando a incerteza do valor predito e calculando uma média ponderada entre o valor predito e o valor medido. O peso maior é dado ao valor de menor incerteza. As estimativas geradas pelo método tendem a estar mais próximas dos valores reais que as medidas originais pois a média ponderada apresenta uma melhor estimativa de incerteza que ambos os valores utilizados no seu cálculo [12].

A lógica difusa é a forma de lógica multivalorada na qual os valores lógicos das variáveis podem ser qualquer número real entre 0 (FALSO) e 1 (VERDADEIRO). Diferentemente, na lógica booleana, os valores lógicos das variáveis podem ser apenas 0 e 1. A lógica difusa foi estendida para lidar com o conceito de verdade parcial, onde o valor verdade pode compreender entre completamente verdadeiro e completamente falso. O termo lógica difusa foi introduzido em 1965 com a proposta da teoria de conjuntos difusos por Lofti A. Zadeh. As implementações da lógica difusa permitem que estados indeterminados possam ser tratados por dispositivos de controle [13].

O Estimador de Qualidade de Enlace proposto utiliza como referência o descrito em [5]. Ele utiliza um filtro Kalman para suavizar os valores instantâneos de RSSI, que juntamente com um valor médio de LQI, é aplicado a uma lógica Fuzzy para estimar a qualidade do enlace, conforme a figura 01.

As Lógicas Paraconsistentes nasceram da necessidade de se encontrar meios de dar tratamento às situações contraditórias. Em muitos estudos, apresentaram resultados que possibilitam considerar as inconsistências em sua estrutura de um modo não trivial e por isso, se mostram mais propícias no enquadramento de problemas ocasionados por situações de contradições que aparecem quando lidamos com o

mundo real. A Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v mostra-se adequada quando se utiliza o conhecimento de evidências para ajudar a resolver conflitos, quando várias inferências inconsistentes ocorrem. Neste trabalho as contradições são tratadas conforme a LPA2v, e a análise das evidências nos leva a situações de saídas que vamos denominar de estados lógicos resultantes. A saída pode ser de 2 tipos: situações de estados extremos que são, Falso, Verdadeiro, Inconsistente e Paracompleto, e as situações de estados denominados de não-extremos, todos representados no reticulado. Para considerar o raciocínio evidencial através da Lógica Paraconsistente Anotada, dois valores são agora associados a uma anotação do reticulado [6].

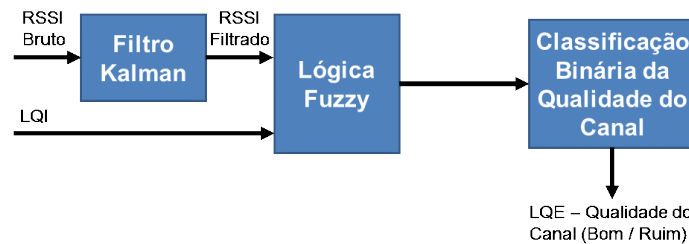


Fig. 01: Estimador de Qualidade de Enlace por Kalman – Fuzzy

O NAP ou Nó de Análise Paraconsistente é um módulo de algoritmo da LPA2v. Conforme descrito em [14] uma rede de células de NAP realimentadas (chamadas de CNAP de aprendizagem) pode ser utilizada para o cálculo de média e, por consequência, a formação de filtros.

O EQE proposto utiliza Filtro de CNAPap em substituição ao Filtro Kalman e de Média e a lógica LPA2v em substituição da Lógica Fuzzy, conforme a figura 02 à seguir.

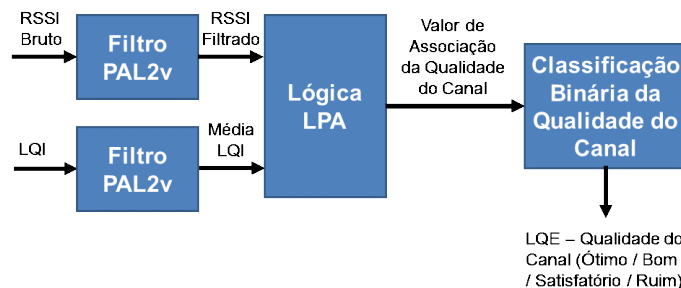


Fig. 02: Estimador de Qualidade de Enlace por Filtro CNAPap – LPA2v

As figuras 03a e 03b apresentam os sinais de RSSI e LQI após a conversão de 8 bits em informação numérica, sua normatização em valores entre 0 e 1 para a lógica LPA2v e aplicação nos Filtros CNAPap (PAL2v). A figura 04 apresenta um exemplo de indicação do EQE após a aplicação dos valores de RSSI (μ) e LQI (λ) ao algoritmo LPA2v.

A Lógica do EQE apresenta certas contradições e por essa razão pode ser aplicada o LPA2v. A proposição – A qualidade do Enlace é Boa? – é apresentada, sendo que os cenários extremos podem ocorrer:

- Se RSSI é baixa e LQI é alta, qualidade do Link é Boa (contradição, já que pode degradar a qualquer instante com uma piora continuada da RSSI)
- Se RSSI é baixa e LQI é baixa, a qualidade do Link é Baixa (Pobre)
- Se RSSI é alta e LQI é baixa, a qualidade do Link é Baixa (Pobre)
- Se RSSI é alta e LQI é alta, a qualidade do Link é Boa

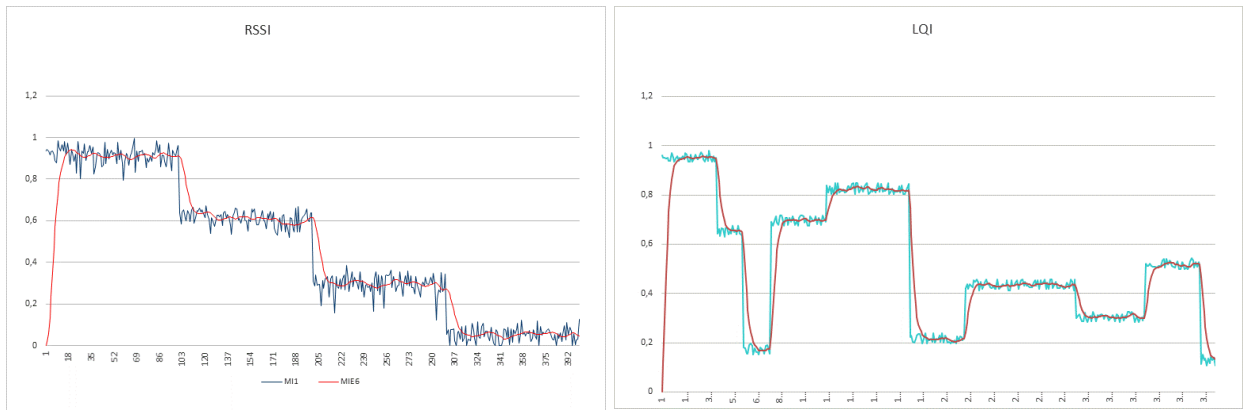


Fig. 03a: Filtro CNAPap para RSSI. Fig 03b: Filtro CNAPap para LQI médio.

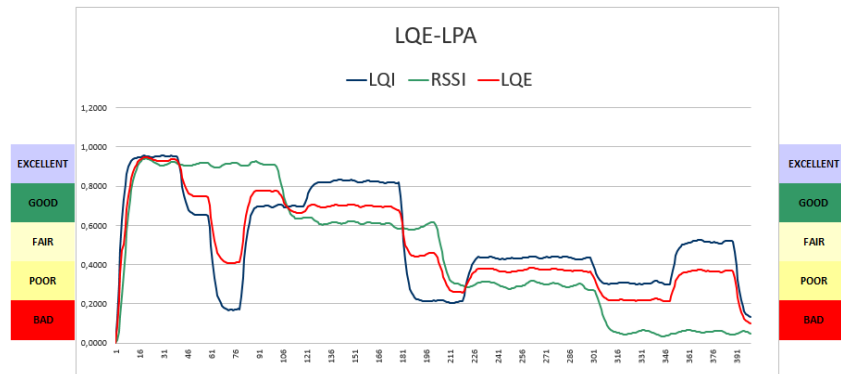


Fig. 04: RSSI, LQI e Estimador de Qualidade do Enlace (LQE).

A tabela 01 apresenta os valores utilizados para os intervalos de decisão do Grau de Evidência Resultante Real (μ_{ER}).

Tabela 01: Intervalos do LQE

LQE	μ_{ER}
EXCELLENT	0,8 – 1,0
GOOD	0,6 – 0,8
FAIR	0,4 – 0,6
POOR	0,2 – 0,4
BAD	0,0 – 0,2

3- MODELO PROPOSTO

Uma rede Ponto-a-Ponto Zigbee para a coleta das informações de RSSI e LQI em diferentes cenários, tais como diferentes distâncias, com e sem interferência forçada, etc. Um dos sensores será conectado a um computador para a coleta dos dados, conforme a figura 05, à seguir.



Fig. 05: Rede Zigbee para coleta de RSSI e LQI

3.1 Rede de Petri

Com base nas etapas do processo em tempo real de formulação do sinal de EQE foram elaborados com auxílio do software PIPE2, os módulos de transmissão e recepção de pacotes Zigbee de forma simplificada e de Estimador de Qualidade do Enlace LPA2v, conforme figuras 06 e 07 à seguir.

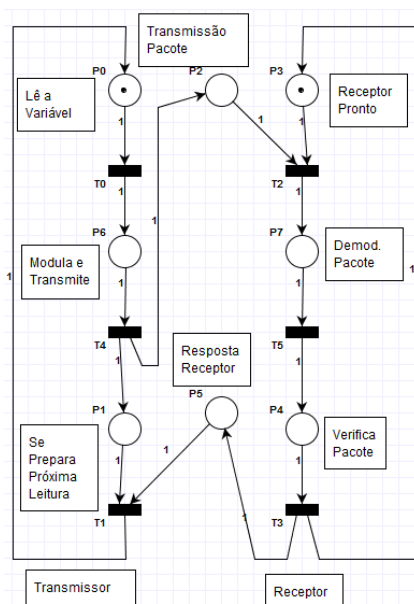


Fig. 06: Rede de Petri para Transmissor e Receptor Zigbee

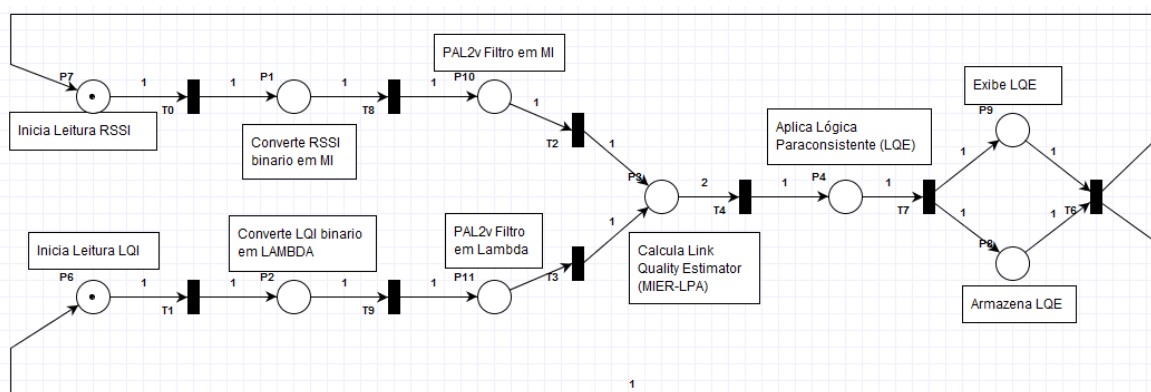


Fig. 07: Rede de Petri para EQE-LPA2v

Na rede da figura 06, a marca (pacote de dados) transita pelas etapas de transmissão até ser enviada ao receptor. No receptor o pacote de dados transita pelas etapas de recepção e ao final, o receptor responde ao transmissor tanto se o pacote foi recebido com erros ou sem erros. Como esta informação é irrelevante para este paper, não foi necessário a representação em maiores detalhes.

Na rede da figura 07 as marcas de RSSI e LQI passam por seus respectivos processos até que quando ambas estão disponíveis o cálculo do Grau de Evidência Real é realizado antes de ser aplicado à lógica paraconsistente para a apresentação da indicação de EQE (ou LQE em inglês).

Os modelos foram integrados em uma rede completa conforme figura 08 à seguir. A interpretação das transições e lugares da rede completa é apresentada na tabela 02, à seguir.

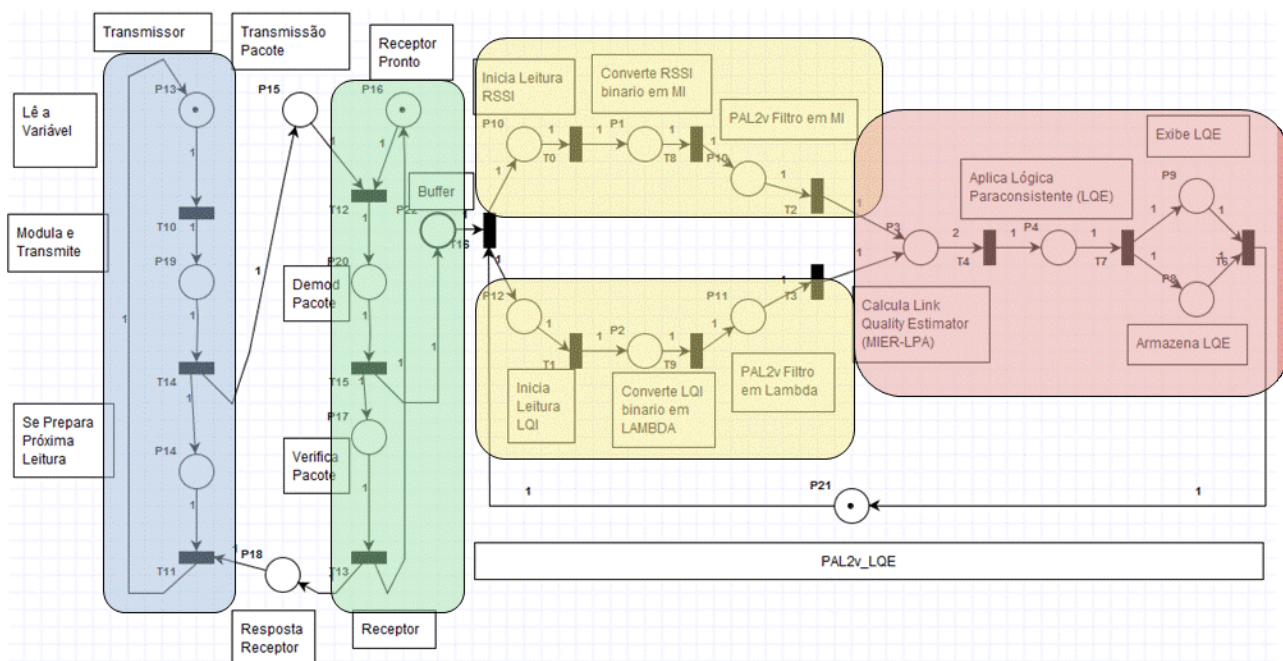


Tabela 02: Interpretação de transições e lugares da Rede de Petri da Figura 08

4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Rede de Petri elaborada foi planejada para não haver travamento (Deadlock), pois há realimentação nos 3 módulos – Transmissor de Dados, Receptor de Dados e módulo EQE-LPA2v. Foram executados 2000 gatilhos repetidamente e em nenhum momento a rede apresentou falhas. Infelizmente a ferramenta PIPE2 possui limitações que não permitiram exibir o Grafo de Cobertura/Alcançabilidade, conforme figura 09, à seguir. Já a figura 10 apresenta o resultado da análise de estado / espaço, informando que a rede não possui travamento (Deadlock), enquanto que a figura 11 apresenta os resultados de classificação da Rede de Petri completa desenvolvida.

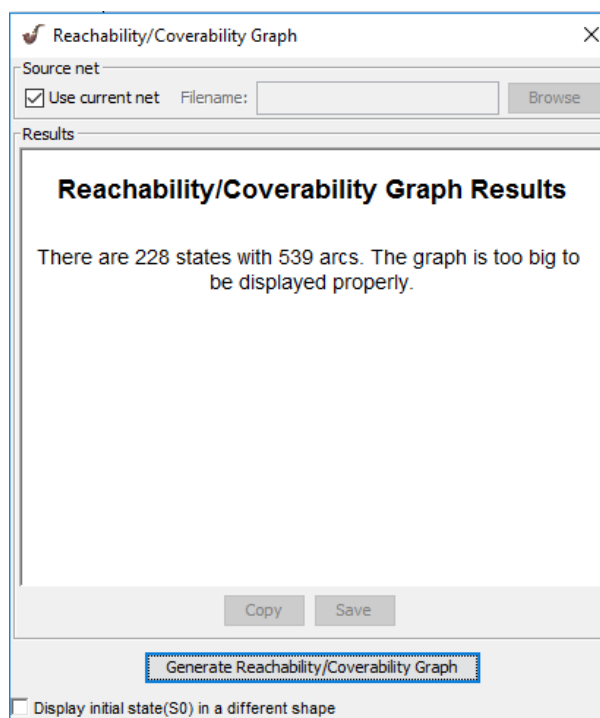


Fig. 09: Resultados de Grafo de Cobertura / Alcançabilidade da Rede de Petri Completa no PIPE2.

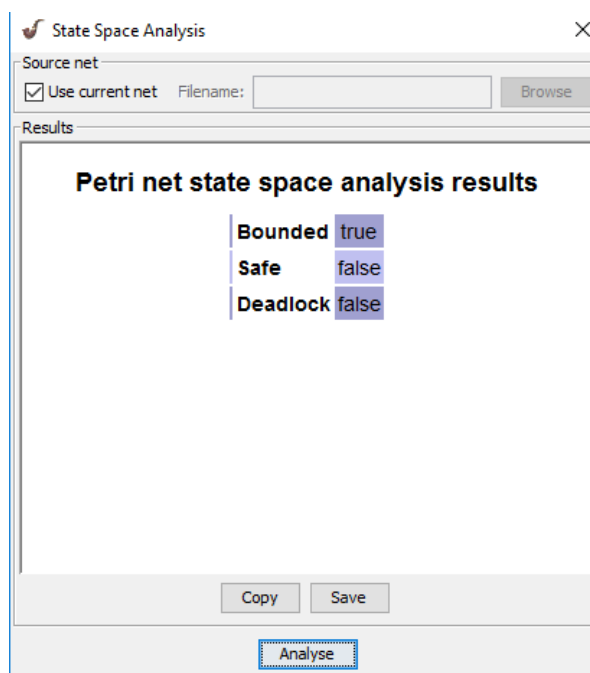


Fig. 10: Resultados de Análise de Estado / Espaço da Rede de Petri Completa no PIPE2.

A figura 12 apresenta os resultados de análise de invariantes de transições (T-invariantes) e Lugares (P-invariantes) da Rede de Petri completa, bem como as equações de P-invariantes.

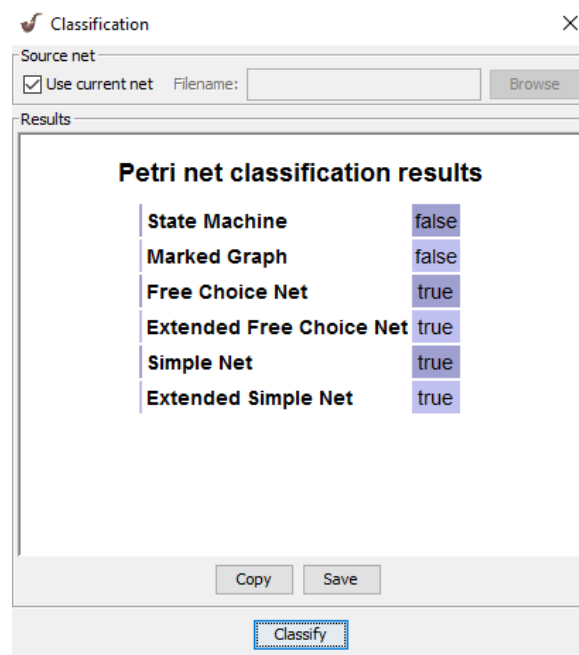


Fig. 11: Resultados de Classificação da Rede de Petri Completa no PIPE2.

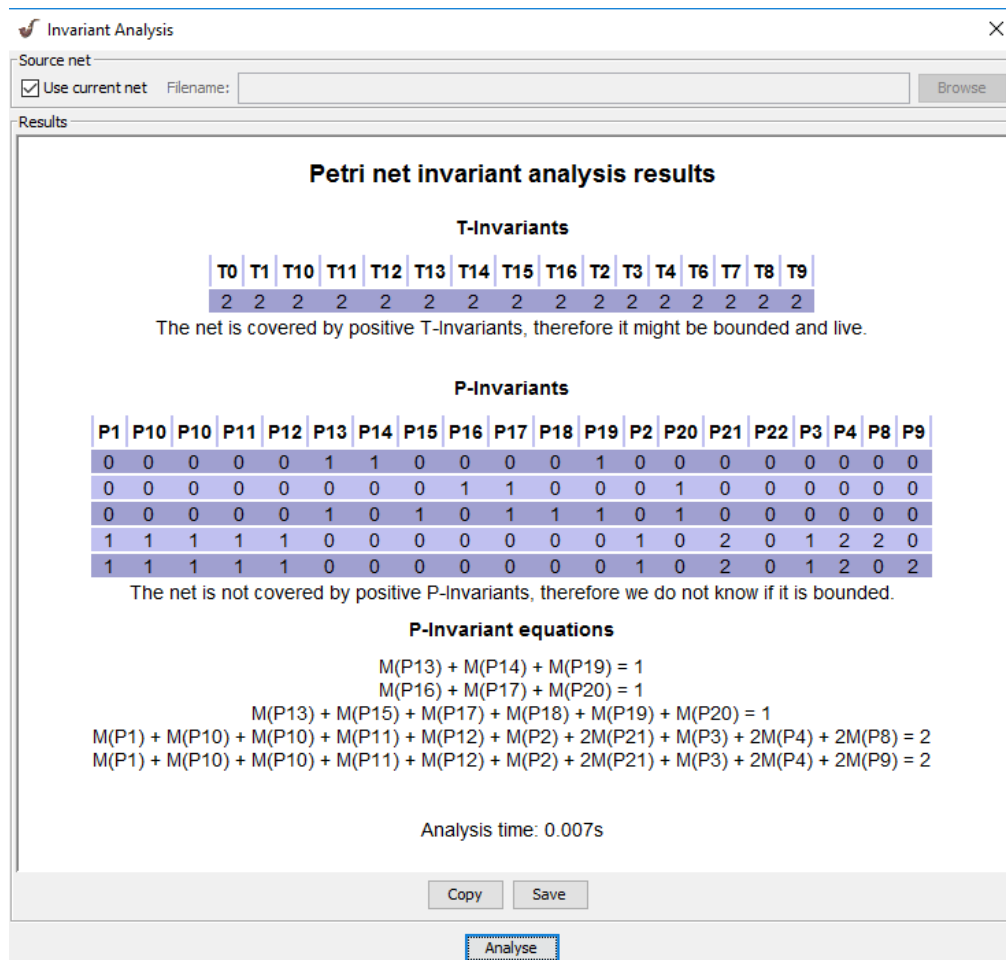


Fig. 12: Resultados de Análise de Invariantes da Rede de Petri Completa no PIPE2.

A tabela 03, à seguir, apresenta as matrizes de Incidente e Marca da Rede de Petri Completa da figura 08.

Forwards incidence matrix I^+

Backwards incidence matrix I-

Combined incidence matrix I

[illegible]

P10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0
P10	-1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	1
P12	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P13	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P14	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P15	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P16	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P17	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P18	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P19	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
P20	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
P21	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0
P22	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	-2	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0

Inhibition matrix H

	T0	T1	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T2	T3	T4	T6	T7	T8	T9
P1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Marking

	P1	P10	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P2	P20	P21	P22	P3	P4	P8	P9
Initial	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1
Current	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1

Enabled transitions

	T0	T1	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T2	T3	T4	T6	T7	T8	T9
	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	yes	no	no	no

A figura 13 à seguir apresenta a análise de Sifões Mínimos e Armadilhas Mínimas da Rede de Petri completa da figura 08.

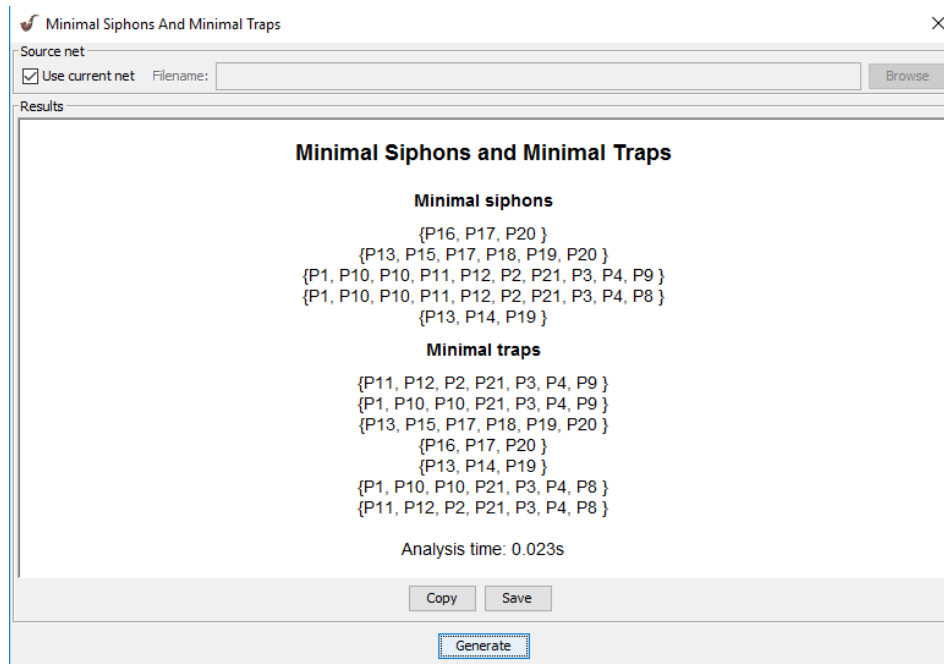


Fig. 13: Sifões Mínimos e Armadilhas Mínimas

A tabela 04, à seguir, apresenta os resultados da simulação do PIPE2 após 1000 disparos e 5 replicações. Para todos os lugares são informados a média do número de tokens e o intervalo de confiança para 95%.

Tabela 04: Simulação do PIPE2 para 1000 disparos e 5 replicações.

Place	Average number of tokens	95% confidence interval (+/-)
P1	0,17383	0,01967
P10	0,13886	0,01589
P10	0,18781	0,02707
P11	0,15784	0,02444
P12	0,18282	0,02793
P13	0,14785	0,02876
P14	0,72527	0,04393
P15	0,12388	0,01719
P16	0,53746	0,04229
P17	0,14985	0,00599
P18	0,13886	0,01473
P19	0,12687	0,03121
P2	0,14486	0,03235
P20	0,31269	0,04059
P21	0,0969	0,01524
P22	0,70729	0,07166
P3	0,43057	0,04237
P4	0,1009	0,01101
P8	0,09391	0,01226
P9	0,09391	0,01226

5- CONCLUSÕES

O objetivo deste paper foi alcançado e uma Rede de Petri foi elaborada para representar as etapas do processo de elaboração do Estimador de Qualidade de Enlace com LPA2v proposto. Foi possível verificar como a Rede de Petri permite avaliar as etapas de um processo. No modelo proposto, mesmo com os disparos sendo aleatórios, não ocorreram travamentos, acúmulo e marcas comprometedoras e outros fenômenos do processo. Como são necessárias 2 medidas diferentes (RSSI e LQI) para o cálculo do PAL2v_LQE proposto, a Rede de Petri utilizada permitiu demonstrar o sequenciamento, o paralelismo, funções AND-Split e AND-Join, sincronização, armazenamento (buffer), gatilho e enlace fechado (sistema cíclico) com sucesso. Redes de Petri mais complexas são possíveis, porém não foram exigidas no modelamento do EQE-LPA2v.

Referências bibliográficas

1. WEISS J; YU R (2015). Wireless Sensor Networking for the Industrial Internet of Things. Dust Networks Product Group. Linear Technology.
2. GUNGOR VC; HANCKE GP (2009). Industrial Wireless Sensor Networks: Challenges, Design Principles, and Technical Approaches. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS; VOL. 56; N° 10.
3. Baccour, N.; Koubâa, A.; Youssef, H.; Jamâa, M.B.; Do Rosário, D.; Alves, M.; Becker, L. B. F-LQE: A Fuzzy Link Quality Estimator for Wireless Sensor Networks. EWSN'10 Proceedings of the 7th European conference on Wireless Sensor Networks, Pages 240-255, Coimbra, Portugal — February 17 - 19, 2010
4. G. Zheng, D. Han, R. Zheng, C. Schmitz, and X. Yuan, "A link quality inference model for IEEE 802.15.4 low-rate wpans," in GLOBECOM, 2011, pp. 1–6.
5. Jayasri, T. Hemalatha, M. Link Quality Estimation using Soft Computing Technique. Middle-East Journal of Scientific Research 21 (1): 158-168, ISSN 1990-9233. IDOSI Publications, 2014. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2014.21.01.21131.
6. Da Silva Filho, J.I. (2006). "Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v" (in portuguese).. Seleção Documental Magazine, No 1, SP. Brazil. ISBN 18090648.
7. N. C. A. da Costa; J. M. Abe; A. C. Murolo; J. I. Da Silva Filho; C. F. S. L. (1999). "Lógica Paraconsistente Aplicada" (in portuguese). São Paulo: Atlas, ISBN 8524422184.
8. Da Silva Filho, J.I. (2006). "Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v" (in portuguese).. Seleção Documental Magazine, No 1, SP. Brazil. ISBN 18090648.
9. Da Silva Filho, J.I. (2008). "Lógica Paraconsistente e Probabilidade Pragmática no Tratamento de Incertezas". (in portuguese). Seleção Documental Magazine, No 9, SP. Brazil. ISBN 18090648.
10. Da Silva Filho, J.I. (2007). "Introdução às Células Neurais Artificiais Paraconsistentes" (in portuguese).. Seleção Documental Magazine, No 8, SP. Brazil. ISBN 18090648.
11. https://pt.wikipedia.org/wiki/Rede_de_Petri, acessado em 14/11/2016, as 16:30hs.
12. https://pt.wikipedia.org/wiki/Filtro_de_Kalman, acessado em 14/11/2016, as 16:30hs.
13. https://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_difusa, acessado em 14/11/2016, as 16:30hs.
14. Da Silva Filho, J ; Da Cruz C. M.; Rocco, A.; Garcia, D. V.; Ferrara, L. F. P.; Onuki, A. S.; Mario, M. C.; Jair, M. A. (2016). "Paraconsistent Artificial Neural Network for structuring Statistical Process Control in Electrical Engineering". Towards Paraconsistent Engineering Book, pp 77-102, Springer International Publishing, 2016, ISBN 978-3-319-40418-9.