

Sistemas Produtivos e Desenvolvimento Profissional: Desafios e Perspectivas

O Uso da Lógica Fuzzy na Análise da Qualidade de Sinal em Redes de Sensores sem Fio.

EDNERT RAFAEL ROZIN TUCCI

Pontifícia Universidade Católica de Campinas – São Paulo – Brasil
ednertr@gmail.com

VITOR QUEIROZ PEREIRA

Pontifícia Universidade Católica de Campinas – São Paulo – Brasil
vitorqpereira@hotmail.com.

ALEXANDRE DE ASSIS MOTA

Pontifícia Universidade Católica de Campinas – São Paulo – Brasil
amota@puc-campinas.edu.br.

LIA TOLEDO MOREIRA MOTA

Pontifícia Universidade Católica de Campinas – São Paulo – Brasil
lia.mota@puc-campinas.edu.br

OMAR CARVALHO BRANQUINHO

Pontifícia Universidade Católica de Campinas – São Paulo – Brasil
branquinho@puc-campinas.edu.br

Resumo –Este trabalho trata da análise da qualidade do sinal em redes de sensores sem fio, visando assim, a otimização da qualidade e, conseqüentemente, do tráfego de dados dos sensores. Para isso, é empregado um sistema embarcado com lógica nebulosa, que analisa os sinais e fornece subsídio ao gerente da rede em suas tomadas de decisões.

Palavras-chave: Fuzzy, Redes de Sensores sem Fio, Qualidade de Sinal.

Abstract–This work examines the signal quality in wireless sensors networks, thus aiming to optimize the quality and consequently the sensor data traffic. For this, it is used an embedded system with fuzzy logic, which analyze the signals and provide substrate to the network manager in their decision making process.

Keywords:Fuzzy , Wireless Sensors Networks , Signal Quality .

1. Introdução

A intensidade do sinal recebido (RSSI – *ReceivedSignalStrengthIndicator*) é fator relevante para a gerência de redes de comunicação sem fio. Esta grandeza é influenciada por diversos fatores pertinentes ao ambiente na qual a rede está inserida, isso faz com que seu comportamento seja difícil de se prever, podendo afetar diretamente a qualidade da comunicação.

De modo geral, em redes sem fio a preocupação tem sido em avaliar o comportamento do sinal, separando, por exemplo, em *fading* lento e *fading* rápido (CICRIELLO, 2015), e busca por modelos de propagação para predição de cobertura. As características da camada física e estratégia de acesso possuem parâmetros bem definidos em sistemas sem fio tradicionais. O sistema celular é um exemplo, trata-se conceitualmente de uma rede ponto-multi-ponto (PMP) com todos os processos de comunicação controlados por uma estação rádio base(YACOUN,2002).

O paradigma de formação da rede tem suas peculiaridades em Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) e possibilita a utilização de diferentes tipos de estratégias, como mudança de taxa, rota, base, canal, etc(RAPPAPORT,2002; SMITH,1997). Via de regra, tais mudanças ocorrerão em função da RSSI e sua variação. Estas estratégias devem ser aplicadas com análises em tempo real da variação da intensidade de sinal para se ter parâmetros que permitam estimar a confiabilidade do enlace, permitindo a reconfiguração da rede e evitando falhas nas comunicação. As RSSFs apresentam peculiaridades com relação as redes sem fio tradicionais neste aspecto.

Para garantir a disponibilidades e confiabilidade dos serviços, é conveniente a investigação de estratégias que permitam avaliar a confiabilidade do enlace de rádio para a tomada de decisão pelo sistema de gerência. A análise em tempo real pode ser chamada de *runningstatistics*(YACOUN,1993), levando em consideração a análise estatística de curto prazo. Esta necessidade é encontrada, por exemplo, no ambiente industrial, onde existem processos que devem ser monitorados e controlados.

É comum a análise de problemas lógicos a partir de modelagem matemática. Há muitos casos nas diversas áreas do conhecimento para aplicação dessa técnica, porém existem casos em que as variáveis envolvidas não podem ser expressas por equação ou cálculo exato. Esses valores normalmente são linguísticos ou não lineares, necessitando de tratamento especial para seu processamento. Essas variáveis podem ser analisadas através da Lógica Fuzzy ou também conhecida por Lógica Nebulosa ou Difusa.

A teoria fundamental da Lógica Nebulosa, os Conjuntos Nebulosos (Fuzzy Sets), foi introduzida na literatura pelo matemático LotfZadeh em 1965 (MENDEL,1995). A principal característica dos conjuntos nebulosos é a capacidade de reproduzir, de modo mensurável pela matemática, variáveis linguísticas tratadas pelo homem, possibilitando também a execução de operações de conjuntos (como união e intersecção) sobre os valores. O trabalho

pioneiro citado foi seguido por muitos outros, ampliando assim o conceito e as aplicações da Lógica Nebulosa para as mais diversas áreas.

A computação tradicional evoluiu a partir de um sistema binário, ou seja, é digital e aceita, em suma, apenas dois níveis de resposta: verdadeiro ou falso. Em contrapartida, um sistema baseado em lógica nebulosa, também chamada de lógica analógica, aceita diversos níveis de resposta, e não apenas “0” ou “1”. E, ao retratar esse cenário em um microprocessador com recursos limitados, vê-se a necessidade de adotar-se uma abordagem otimizada para o caso em questão. Pensando nessa necessidade, foi desenvolvido o método de matrizes, que explora as características dos sistemas nebulosos e o simplifica para que seja executado em um hardware com baixo poder de processamento.

Para o cenário estudado, foi utilizado um microcomputador fabricado em arquitetura ARM, com o sistema de matrizes em fuzzy embarcado afim de analisar a qualidade do sinal em redes de sensores sem fio.

2. Referencial Teórico

Na Engenharia, a referência (CICRIELLO,2015)se destaca pela análise teórica das características da Lógica Nebulosa aplicada à área das Ciências Exatas. Nela, o autor descreve a Lógica Nebulosa como sendo um mapeamento de dados não lineares em um valor de saída escalar, utilizando regras para analisar simultaneamente valores de entrada numéricos e linguísticos.

A Lógica Nebulosa é usada em diversas situações e nos mais diversos campos de atuação. Como exemplificado em (CICRIELLO,2015),pode ser usada para sistemas de controle (aviões, trens e automóveis), sistemas aeroespaciais, análise do mercado de ações, estabilização de imagens e até gerenciamento de elevadores.

Já no âmbito do manejo de agricultura e do meio ambiente, a lógica nebulosa também é empregada em diversas formas. Para (PANDORFI et al, 2007), a lógica é empregada no manejo e bem estar das criações. Já em (ROMANINI et al, 2010) e (NOLASCO-CARVALHO et al,2008), vê-se a Lógica Fuzzy sendo empregada no cultivo e também na manutenção da qualidade do solo.

Em questões ambientais, a lógica Fuzzy é empregada desde a avaliação do estado atual dos ambientes (NAVARES, 2007), na conservação de fragmentos florestais (LIMA, 2015), até na análise de reflorestamento de um único bioma (ROLIM, 2010) ou ainda de um país (COUTINHO, 2015).

Outra visão do uso de lógica nebulosa com foco ambiental pode ser vista em (BARIN et al, 2010), onde os autores utilizam a lógica Fuzzy para desenvolver um sistema de análise para a geração distribuída de energia, visando, além de uma matriz energética confiável, um menor impacto ambiental.

3. Método

A Lógica Fuzzy foi aplicada, neste trabalho, com o propósito de mensurar a confiabilidade na comunicação entre dois nós sensores. A qualidade do sinal está diretamente relacionada com sua intensidade (*RSSI*) e isso faz com que a dispersão da intensidade deste sinal seja de fundamental relevância na confiabilidade da comunicação. Na análise, foram utilizados, além do valor de *RSSI*, os Índices de Alta e Queda. Tais índices buscam mensurar a tendência de melhora ou piora da intensidade do sinal, são facilmente calculados e convenientemente possuem seus valores entre 0 e 1 (PEREIRA,2015).

Os conjuntos nebulosos utilizados obedecendo a metodologia de resolução matricial da lógica estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Conjuntos nebulosos

CONJUNTOS NEBULOSOS					
ANTECEDENTE	RSSI BOA	-50	-20	10	10
	RSSI MÉDIA	-80	-50	-50	-20
	RSSI ALTA	-110	-110	-90	-50
	ÍNDICE ALTA ALTO	0	0	0,8	0,85
	ÍNDICE ALTA MEDIO	0,8	0,85	0,85	0,95
	ÍNDICE ALTA BAIXO	0,9	0,95	1	1
	ÍNDICE BAIXA ALTO	0	0	0,8	0,85
	ÍNDICE BAIXA MEDIO	0,8	0,85	0,85	0,95
	ÍNDICE BAIXA BAIXO	0,9	0,95	1	1
CONSEQUENTE	CUSTO ALTO	0	0	3	5
	CUSTO MÉDIO	3	5	5	7
	CUSTO BAIXO	5	7	10	10

A base de regras que relaciona a pertinência dos conjuntos antecedentes com os consequentes está descrita na Tabela 2.

Tabela 2 - Base de Regras

BASE DE REGRAS		
Parâmetro 1	Parâmetro 2	Consequência
RSSI Boa	RSSI Boa	Custo Baixo
RSSI Média	Índice Queda Alto	Custo Alto
RSSI Média	Índice Alta Alto	Custo Baixo
RSSI Média	Índice Queda Média	Custo Médio
RSSI Baixa	Índice Alta Alto	Custo Médio
RSSI Baixa	Índice Queda Alto	Custo Alto
RSSI Baixa	Índice Queda Média	Custo Alto
RSSI Baixa	Índice Queda Alto	Custo Alto

A partir dos conjuntos de saída e seus respectivos Cortes Alpha têm-se uma figura plana na qual pode-se calcular a centróide, este valor será a métrica de custo do *link* na qual será atribuído a sua confiabilidade.

O sistema desenvolvido pode até rodar em computadores convencionais, do tipo torre ou portáteis, porém, para maior versatilidade do sistema, encontrou-se a necessidade de embarcar a lógica desenvolvida em um hardware robusto, versátil, de pequeno porte e relativamente barato.

Dentre esses quesitos, dois hardwares destacam-se, são eles, o Beaglebone® e o Raspberry PI®. Sem pontos que desabonem uma ou outra opção, foi escolhido o Raspberry PI por sua biblioteca ligeiramente mais vasta.

A versão do RaspberryPi escolhida é a 2.0 B+, a mesma versão disponível para visualização na Figura 1. Das características pertinentes, esse hardware conta com um processador Quad-Core de 900Mhz, 1Gb de memória RAM, conexão Ethernet de 100Mbps e expansões em armazenamento ou conectividade através das portas USB.

Figura 01 - RaspberryPi 2 Versão B+



Fonte: www.raspberrypi.org

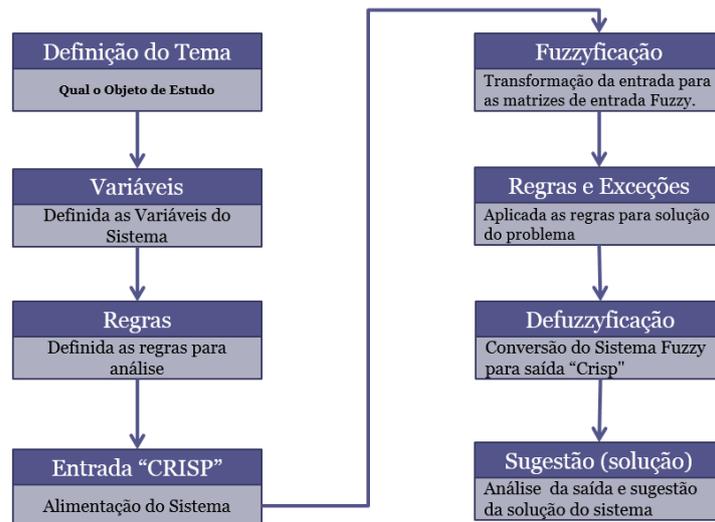
Como pano de fundo para rodar o software desenvolvido, no Raspberry foi instalada a distribuição Linux Raspbian; já para o perfeito funcionamento dos itens do sistema foram instalados os seguintes ficheiros:

- Servidor PHP
- Servidor Apache
- Servidor MySql
- Servidor FTP.

Conforme descrito por (SIQUEIRA, 2013), o método de matrizes prioriza as vantagens que os microprocessadores têm, de executar pequenas tarefas, porém, inúmeras vezes, de um modo rápido. Assim, o sistema simplifica um problema nebuloso de modo a gerar processos que não demandam um grande poder de processamento, porém, ao final, após ser executado tantas vezes quanto for necessário, resulte em uma resposta lógica, não utilizando para tal, grandes e complexas fórmulas matemáticas.

O software em questão foi desenvolvido principalmente utilizando a linguagem PHP V5.0, embarcada em um ambiente Linux como servidor. Conforme podemos acompanhar na Figura 2, o sistema colhe as informações das matrizes de entrada, regras e critérios, e, de acordo com os passos descritos por (SIQUEIRA, 2013), o software executa as funções, retornando o valor da centróide.

Figura 02- Fluxograma para resolução do Sistema.



Fonte: O autor.

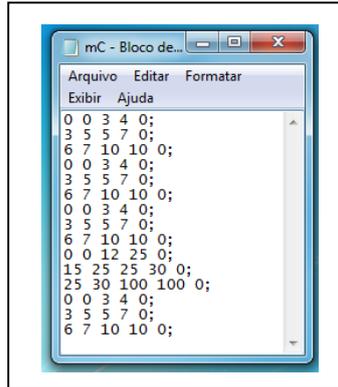
O ambiente de programação utilizado para o desenvolvimento do sistema foi o *NetBeansIDE8.1*. Dentre as vantagens de utilizar-se um ambiente de programação, estão a facilidade de depuração de erros e testes integrados ao servidor e navegador. A correção de comandos mais utilizados e uma classificação de cores que auxiliam no desenvolvimento. Após desenvolvido o sistema, o usuário de teste conta com a janela demonstrada na figura 03. Nesse ambiente de testes, o mesmo carregará as matrizes de Conjunto Nebuloso ["C"], de Regras ["R"] e de Entradas["E"].

Figura 03 - Ambiente de testes do *Software*.

Fonte: O autor.

Ao pressionar "Enviar", o programa lerá as matrizes enviadas pelo usuário, que, obrigatoriamente devem estar com um caracter de "Espaço" entre os valores de uma mesma linha e o caracter "ponto e vírgula", conforme a matriz de exemplo demonstrada na Figura 04.

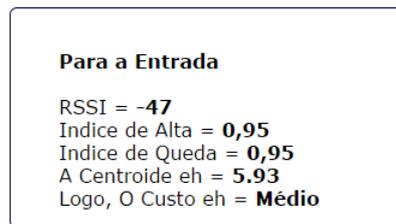
Figura 04 -Exemplo de Matriz.



Fonte: O autor.

Após processar as matrizes, utilizando para tal o método de matrizes, já demonstrado por(SIQUEIRA, 2013), o programa retorna ao usuário uma sugestão para a tomada de decisão do operador. Nesse Caso, retornando de o Custo do sistema é “Baixo”, “Médio”, ou “Alto”. Um exemplo de um Cenário executado à título de teste pode ser visualizado na figura 05.

Figura 05 - Saída do Sistema.



Fonte: O autor.

4. Resultados e Discussão

Foram analisados quatro cenários diferentes para avaliar a métrica proposta. O primeiro é um sinal estável com uma RSSI boa, o segundo é estável com uma RSSI fraca, o terceiro é uma RSSI fraca com tendência de queda e o ultimo é uma RSSI boa com tendênciade queda.

A Tabela 3 mostra quais foram esses valores de entrada e seus respectivos resultados.

Tabela 3 – Cenários

Cenário	RSSI	Índice de Alta	Índice de Queda
1	-47	0,95	0,95
2	-88	0,97	0,98
3	-85	0,89	0,86
4	-48	0,87	0,8

Dados os cenários acima (matriz entrada ["E"] do sistema), o próximo passo é confrontá-los com as matrizes de Conjuntos ["C"] e Regras ["R"], dadas nas tabelas 1 e 2, respectivamente. Assim, utilizando-se do método de matrizes (SIQUEIRA, 2013), obtêm-se o resultado conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Cenários, após execução

Cenário	RSSI	Índice de Alta	Índice de Queda	Custo
1	-47	0,95	0,95	Médio
2	-88	0,97	0,98	Alto
3	-85	0,89	0,86	Alto
4	-48	0,87	0,8	Médio

Os resultados obtidos foram validados através de dois métodos distintos. No primeiro, foi utilizado o método de "teste de mesa". Onde todos os passos foram feitos à mão para garantir que a execução do sistema está seguindo os passos lógicos pré-estabelecidos. Na segunda validação, utilizou-se de um software desenvolvido em *SciLab*. Software esse já testado anteriormente e com funcionalidade assegurada.

5. Considerações finais

Os resultados obtidos experimentalmente, a partir de dados previamente obtidos e de comportamento conhecido, demonstram que a métrica de custo proposta neste trabalho pode ser utilizada no gerenciamento de RSSFs. Esta métrica é adequada para ser utilizado na gerência de desempenho como subsidio a gerência de configuração, auxiliando na decisão de mudança de rota, canal, taxa, potência ou modulação nos *links* de baixa confiabilidade.

Uma vez que o protótipo demonstrado pode comunicar-se com diversos aparelhos e/ou usuários através de um simples comando de texto, o sistema proposto pode ser adaptado e utilizado em áreas distintas, como um ambiente fabril, exemplificado, e um ambiente florestal, por exemplo, já que, o maior problema ao usuário é justamente entender o objeto a ser estudado (sua especialidade) e não o sistema Fuzzy empregado no projeto.

Referências

CICRIELLO, Pietro. Luca Mottola. GianPietro Picco¹. Efficient Routing from Multiple Sources to Multiple Sinks in Wireless Sensor Networks. Disponível em: <<http://home.deib.polimi.it/mottola/papers/ciciriello07multi.pdf>>. Acesso em 29 abril de 2015.

YACOUB, Michel D. Wireless Technology: Protocols, Standards, and Techniques. CRC. 2002

RAPPAPORT, Theodore. Wireless Communications: Principles and Practice (2nd Edition). Prentice Hall. 2002.

SMITH, Steven W. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. California Technical Publishing. 1997.

YACOUB, Michel D. Foundations of Mobile Radio Engineering. CRC. 1993.

J. M. Mendel, "Fuzzy Logic Systems for Engineering: A tutorial, "Proceedings of the IEEE, vol 83, no. 3, pp. 345-377, 1995

PANDORFI, Héliáron; SILVA, Iran J. O.; GUISELINI, Cristiane; PIEDADE, Sonia M. S., Uso da lógica Fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. 2007 (Revista de Engenharia Agrícola de Jaboticabal, N.1, 2007)

ROMANINI, Carlos E. B.; GARCIA, Angel P.; ALVORADO, Leonardo M.; CAPPELLI, Nelson L.; UMEZU, Claudio K., Desenvolvimento e simulação de um sistema avançado de controle ambiental em cultivo protegido. 2010 (Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, n.11, 2010)

NAVARES, Elisa Toshie Urushima, Conjunto Fuzzy na avaliação do estado de conservação de sistemas de uso da terra na amazônia ocidental, usando besouros (scarabaeidae) como bioindicadores. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

LIMA, Carlos Roberto Thiago. Aplicação da lógica fuzzy na identificação de fragmentos florestais com potencial para conservação. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

ROLIM, Fernanda Zangiski, Análise de remanescentes florestais utilizando classificação orientada à objeto através da lógica fuzzy no município de Ponte Alta do Norte – SC. Dissertação (Mestre em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2010.

COUTINHO, Luciano Melo. Zoneamento de áreas potenciais para reflorestamento via lógica Fuzzy e AHP. 2015 (XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil)

BARIN, Alexandre; CANHA, Luciane Neves; MAGNAGO, Karine Faverzani; ABAIDE, Alzenira da Rosa, Seleção de fontes alternativas de geração de distribuída utilizando uma análise multidirecional baseado no método AHP e na

lógica fuzzy. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PEREIRA, Vitor Q.; BRANQUINHO, Omar C.; REAL, Cilene R.; CHAVES, Pedro; LINO, Fernando, Proposta de Índices para Avaliação de Instabilidade de Sinalem RSSF Operando em Ambiente Industrial. 2015 (A ser apresentado no Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, SBTr, Juiz de Fora – MG, Setembro de 2015)

L. A. Zadeh, Fuzzy Sets, Information and Control, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, 1965

SIQUEIRA, Ana Raquel Calais. Análise Matricial Nebulosa de Indicadores Para Apoio á Tomada de Decisão na Governança de TIC. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) –Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2013.