

# Spread Factor Optimization using Fuzzy for Planning IoT Networks

Yuri S. Barbosa  
LCT-UFPA  
Belém, Pará, Brasil  
yuri2569@gmail.com

Iury S. Batalha  
LCT-UFPA  
Belém, Pará, Brasil  
iurybatalha@gmail.com

Andreia V. R. Lopes  
LCT-UFPA  
Belém, Pará, Brasil  
andreia.lopes@itec.ufpa.br

Fabrizio J. B. Barros  
LCT-UFPA  
Belém, Pará, Brasil  
fjbbrito@gmail.com

Jasmine P. L. Araújo  
LCT-UFPA  
Belém, Pará, Brasil  
jasmine.araujo2018@gmail.com

## Resumo

IoT networks play an important role in the fifth generation of mobile networks, as IoT networks have applications in several areas, with the objective of sensing and helping in decision making for several systems that exist today. Among these applications, we can highlight smart city, smart farms, smart campus and applications in health and industry. The technologies belonging to the IoT, LoRa is one of the most used due to its wide range and high number of sensors in the network. This work uses this technology in order to optimize the physical layer parameter, spread factor (SF), in order to adapt the LoRa channel to variations in the environment, mobile nodes, and to plan links between the LoRa node and gateway. Through the conditions for receiving the packages, the SF variation increases the probability of receiving the packages. To determine the best SF based on the channel conditions, we propose a *fuzzy* logic initially with input parameters: RSSI and SNR, with the possible SF values output in the range 7 to 12.

Copyright © by the paper's authors. Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

In: Proceedings of the IV School of Systems and Networks (SSN 2020), Vitória, Brazil, December 14-15, 2020. Published at <http://ceur-ws.org>.

## 1 Introdução

*Internet of Things* (IoT) é um conceito de rede que permite a vários dispositivos, que antes exerciam apenas funções únicas, conectar-se uns aos outros. Estes dispositivos são equipados com tecnologias que os permite produzir dados sobre as condições internas do sistema, assim como interagir com o ambiente que os envolve [Set17].

Muitas pesquisas são realizadas para IoT, o que levou ao seu aprimoramento e desenvolvimento, prometendo que a partir do uso de tecnologias integradas e de processamento massivo de dados, soluções mais eficazes para diversos objetivos como: casas inteligentes (*Smart home*), campus inteligente (*Smart campus*), agricultura inteligente (*Smart farming*), cidades inteligentes (*Smart Cities*) entre outros [Lop19].

A comunicação é o ponto chave que possibilitar agregar todos os dispositivos em uma rede IoT. Comunicação Sem Fio (CSF) fornece os benefícios de mobilidade, sem cabo e facilita adicionar mais dispositivos à rede e facilmente o fornecimento a qualquer objeto a capacidade de se conectar à internet [Kha20]. RSSF se apresenta como uma parte fundamental da IoT, pois serve ao propósito de habilitar a interconexão e integração dos dispositivos do mundo físico com o ciberespaço. RSSF consiste em sensores sem fio de baixa potência que são válidos como infraestrutura para uma implantação prevendo longos períodos de tempo. No entanto, RSSF está associada a muitos desafios herdados devido às restrições dos nós onde os sensores estão associados, como capacidade de energia, capacidade computacional e largura de banda de comunicação [Kob20], [Mod20].

Diferentes cenários requerem diferentes modelos de implantação com diferentes parâmetros de uma rede. Por exemplo: transporte inteligente exige uma implantação de rede que seja capaz de lidar com a mobilidade, cidades inteligentes exigirão implantação de rede que capaz de lidar com comunicações de longo alcance e assim por diante. Hoje em dia, existem várias tecnologias de CSF desenvolvidas para cada perspectiva, variando de curto alcance (ZigBee, 6LowPAN) a médio e longo alcance (LoRa, Sigfox, UNB, LTE-M, etc.) [Mek19].

Redes de longa distância e baixa potência (LPWANs) irão melhorar as aplicações IoT existentes devido ao baixo consumo de energia e à comunicação de longo alcance associada. LPWANs operam em bandas sem fio licenciadas e não licenciadas. As principais características dos LPWANs que devem orientar o design para redes IoT são: baixo consumo de energia, fácil implantação de infraestrutura de rede em todo o país, segurança e cobertura estendida [Khu17].

## 2 LoRa e LoRaWAN

LoRa (Long Range) é a camada física usada em LoRaWAN. Apresenta operação de baixa potência, baixa taxa de dados e longo alcance de comunicação. As redes LoRaWAN são organizadas em uma topologia estrela, no qual os nós transmitem dos dispositivos finais para os gateways conectados à rede central. Dispositivos finais enviam dados para gateways em um único salto sem fio, e os gateways são conectados ao servidor por meio de uma rede não LoRaWAN (IP, LTE ou Ethernet). A comunicação é bidirecional, embora a comunicação de uplink dos dispositivos finais para o servidor da rede seja priorizada devido a certas limitações [Sorn20].

LoRaWAN define três tipos de dispositivos classes A, B e C com diferentes capacidades. Os dispositivos da Classe A usam acesso ALOHA puro para o uplink. Depois de enviar um quadro, um dispositivo de Classe A escuta uma resposta durante duas janelas de recepção de downlink. A transmissão de downlink só será permitida após uma transmissão de uplink bem-sucedida. Portanto, o tráfego de downlink não pode ser transmitido até que uma transmissão de uplink bem-sucedida seja decodificada pelo gateway [Sor20]. Os dispositivos de Classe B são projetados para aplicativos com necessidades adicionais de tráfego de downlink. Finalmente, os Classe C estão sempre ouvindo o canal, exceto quando estão transmitindo geralmente são usados como gateways.

A comunicação entre os dispositivos finais e os gateways começa com um procedimento de junção que pode ocorrer em vários canais de frequência por implementação de salto de canal pseudoaleatório. Cada

quadro é transmitido com um fator de espalhamento específico (SF), definido como  $SF = \log_2(Rc/Rs)$ , onde  $Rs$  é a taxa de símbolo e  $Rc$  é a taxa de chip. Conseqüentemente, há uma compensação entre SF e o alcance de comunicação. Quanto maior o SF mais lenta é a transmissão e maior será o alcance da comunicação. O número de chips por símbolo é calculado como 2 elevado ao SF. Cada aumento no SF reduz pela metade a taxa de transmissão e, portanto, dobra a duração da transmissão, conseqüentemente aumentando o consumo de energia. Os códigos usados nos diferentes SFs são semi-ortogonais. Isso significa que vários quadros podem ser trocados na rede ao mesmo tempo, desde que cada um seja enviado com um dos seis diferentes SFs de SF = 7 a SF = 12 [Ade17].

A camada física LoRa usa modulação de espectro de propagação de chirp (CSS), uma técnica de espectro de propagação em que o sinal é modulado por pulsos de chirp (pulsos sinusoidais de frequência variável), melhorando assim a resiliência e a robustez contra interferência, efeito Doppler e multipercusso. Os pacotes contêm um preâmbulo (com 8 símbolos), um cabeçalho, a carga útil e um campo de verificação de redundância cíclica (CRC) com configurações que fornecem uma taxa de codificação de 4/5 a 4/8. Os valores típicos de BW são 125, 250 e 500 kHz na banda HF ISM 868 e 915 MHz. A taxa de dados teóricos varia de acordo com o SF e o BW, entre 18 b/s (BW = 7,8 kHz e SF = 12) a 37 kb / s (BW = 500 kHz e SF = 7) [Man20].

É esperado que as redes LoRa suportem um grande número de dispositivos trocando dados na camada física. Logo o gerenciamento dos parâmetros de transmissão da camada física desempenha um papel importante na determinação da capacidade e escalabilidade das redes LoRa. Para tal, a especificação LoRaWAN descreve um mecanismo Adaptive Data Rate (ADR) que é um mecanismo para otimizar taxas de dados, tempo no ar e consumo de energia na rede. É recomendado que o ADR seja ativado somente quando o dispositivo final tiver condições suficientemente estáveis. Significando que o recomendado é ativar ADR para dispositivos estáticos [Man20]. Se o dispositivo final puder determinar que as condições são instáveis o ADR deve ser desativado.

No entanto, também é esperado que mesmo em uma rede instável também exista confiabilidade no fluxo de dados, então a implementação de um agente que exerça uma ação semelhante ao do ADR, de maneira inteligente. Como por exemplo: o controle *fuzzy*, que pode alterar os parâmetros de transmissão dinamicamente a partir de leituras padrões de RSSI, SNR e CRC para então definir o SF e/ou BW [Ade17].

### 3 Metodologia

Esta seção apresenta a metodologia empregada neste trabalho. São abordados as campanhas de medições onde dados foram coletados e utilizados para determinar os parâmetros do controle *Fuzzy*, dos quais os valores mais relevantes para este estudos são os dados de RSSI e SNR, possibilitando desenvolver a proposta de lógica difusa para determinar o SF ótimo de acordo com as condições do canal LoRa.

#### 3.1 Cenário e medições

As campanhas de medições foram realizadas nas dependências da Universidade Federal do Pará (UFPA), onde foram estudados os valores de RSSI e SNR em diversos pontos a longo da rua Igarapé Tucunduba, posicionando o transmissor no topo do espaço de ensino Mirante do Rio a 30 metros de altura e o receptor a 3,3 metros acima. A antena receptora foi posicionada em uma haste instalada há um carro, percorrendo o trajeto a uma velocidade constante de 20 Km/h possibilitando gerar as instabilidades de uma rede móvel, então os dados eram capturados a cada segundo e associados a uma latitude e longitude. Vale ressaltar que a escolha de posicionamento do Tx e dos Rxs é devido ao interesse nos dados dos dispositivos em movimento. A Fig. 1 apresenta o transmissor em vermelho e o receptor em azul.



Figura 1: Disposição das Antenas Transmissora Antena Receptora

As medições foram realizadas com a frequência de 915Mhz, CRC de 4/5, BW de 125Khz, SF 7 e 12. Por necessidade do estudo, onde visamos enviar a máxima quantidade de informação possível pelo canal o menor CRC foi escolhido, e para resultados iniciais foi usado apenas a BW de 125Khz. O equipamento de transmissão e recepção utilizado foi a plataforma de desenvolvimento Dragino UNO, baseado no transceptor SX1276 configurado com a potência de transmissão de 20dBm. As antenas utilizadas (Tx e Rx) foram do tipo helicoidal, com 3 dBi de ganho.

#### 3.2 Controle *fuzzy*

A lógica *fuzzy* trabalha, com incertezas e verdades parciais dos fenômenos naturais, de uma maneira sis-

temática e rigorosa. Logo para uma rede não estável com incertezas relacionadas ao recebimento dos dados, mostrasse como um forte candidato a oferecer uma maior confiabilidade para rede [Sim99].

De maneira simplificada um controle *fuzzy* pode ser dividido em quatro passos, onde as entradas são lidas e transformadas em entradas *fuzzy* (1 - Fuzzyficação), em seguida são aplicadas a um equação característica *fuzzy* (2 - Inferência *fuzzy*), contendo uma lista de regras (3 - Base de Regras) para então por fim gerar uma saída que pode ser lida por um sistema qualquer (4 - Defuzzificação) [Sim99]. Controles *fuzzy*, tem como principal vantagem em relação a outros algoritmos a não necessidade de treinamento, gerando respostas que satisfazem o sistemas em tempo real [Sim99].

Através de campanhas de medições e manuais dos circuitos integrado usados é possível identificar valores de referencia do RSSI e SNR associados ao local de implementação da rede LoRa, também é possível encontrar os valores máximos e mínimos teóricos, possibilitando associar esses valores para definir os graus de pertinência de cada variável e inferir uma faixa de operação do controle *fuzzy*. A Tab. 1 mostra a sensibilidade máxima teórica de RSSI e SNR, também mostra os valores de sensibilidade referentes as medições feitas com a família de chips SX12XX [Man20].

Tabela 1: Dados família de chips SX12XX

	BW (kHz)	SF	RSSI (dBm)	SNR (dB)
Teórico	125	7	-123	-7,5
	125	12	-147	-20
Medido	125	7	-126	-6
	125	12	-140	-20

Usando os dados da Tab. 1 com os extraídos da campanha podemos inferir os valores da nossa faixa de avaliação, como pode ser visto na Fig. 2, onde é possível encontrar as duas entradas *fuzzy* com seus valores associados.

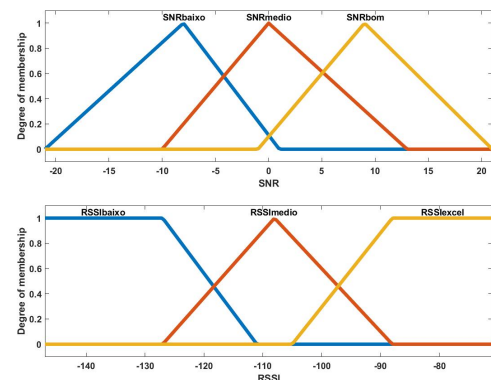


Figura 2: Entradas do controle *fuzzy*

A Fig. 2 exemplifica os possíveis valores das entradas do controle *fuzzy*, onde a entrada RSSI e SNR possuem três funções de associação no formato triangular. Este tipo de função de associação é a mais comum e usado quando existe um valor único que possui o maior grau de pertinência entre todos os outros. Os valores de entradas *fuzzy* da Fig. 2 resultara em uma saída *fuzzy*. A Fig. 3 mostra um exemplo possível de saída, baseado nos SFs mais extremos incluindo um SF médio.

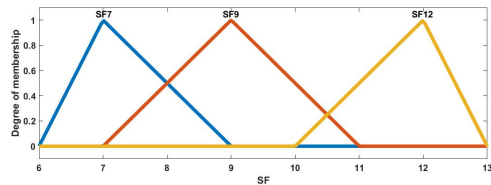


Figura 3: saída do controle *fuzzy*

Como pode ser observado na Fig 3, o controle *fuzzy* terá três saídas que satisfarão as necessidades do ambiente estudado e otimizarão os links de transferência de dados.

## 4 Resultados Esperados

Com a aplicação do controle Fuzzy é esperado que o mesmo determine o melhor SF para as condições do canal atual, mesmo quando exposta a situações de instabilidade. A natureza móvel do receptor dentro do cenário é um bom exemplo de rede que se beneficia de uma otimização de SF, devido a elevada variabilidade no canal por decorrência da mudança do ambiente e movimentação do nó, diferente das condições de canal de um enlace. Atribuir o valor de SF dinamicamente de maneira ótima aumenta a probabilidade de recebimento do pacote LoRa e otimizar o consumo energético, através das variações de RSSI, SNR e a confirmação de pacotes.

## Acknowledgment

Os autores agradecem a Universidade Federal do Pará (UFPA), ao PPGE / UFPA, ao LCT / UFPA e a CAPES pelo suporte e apoio concedido ao desenvolvimento desta pesquisa.

## Referências

[Set17] P. Sethi, S. R. Sarangi, S. R. “Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications”. *Hindawi Publishing Corporation*, pages 1-25, 2017.

[Lop19] A. V. R. Lopes, I. S. Batalha, B. L. S. Castro, A. B. Costa and F. J. B. Barros, IoT e Smart

City: Uma abordagem teórica. *III Congresso de Tecnologia e Desenvolvimento na Amazônia - CTDA*, Santarém, Pará. 2019.

[Kha20] Z. Khan, J. J. Lehtomaki, S. I. Iellamo, R. Vuohtoniemi, E. Hossain, and Z. Han, “IoT Connectivity in Radar Bands: A Shared Access Model Based on Spectrum Measurements,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 2, pp. 88–96, 2020.

[Kob20] H. I. Kobo, A. M. Abu-Mahfouz, and G. P. Hancke, “A Survey on Software-Defined Wireless Sensor Networks: Challenges and Design Requirements,” *IEEE Access*, vol. 5, no. 1, pp. 1872–1899, 2020.

[Mod20] K. M. Modieginiane, B. B. Letswamotse, R. Malekian, and A. M. AbuMahfouz, “Software Defined Wireless Sensor Networks Application Opportunities for Efficient Network Management: A Survey,” *Comput. Electr. Eng.*, 2020.

[Mek19] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel and F. Meyer, “A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment,” *ICT Express*, Volume 5, Issue 1, 2019, Pages 1-7, ISSN 2405-9595, <https://doi.org/10.1016/j.ict.2017.12.005>.

[Khu17] O. Khutsoane, B. Isong and A. M. Abu-Mahfouz, “IoT devices and applications based on LoRa/LoRaWAN,” *IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics*, Beijing, China, 2017, pp. 6107-6112, doi: 10.1109/IECON.2017.8217061.

[Sorn20] N. Sornin et al., “LoRa Specification 1.0,” LoRa Alliance Std Spec., Jan. 2015; [www.lora-alliance.org](http://www.lora-alliance.org), acessado, 2020

[Sor20] N. Sornin et al., “LoRa Specification 1.0,” LoRa Alliance Std Spec., 2020; [www.lora-alliance.org](http://www.lora-alliance.org), acessado em 2020

[Ade17] F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset-Peiro, et.al “Understanding the Limits of LoRaWAN.”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 9, pp. 34-40, Sept. 2017, doi: 10.1109/MCOM.2017.1600613.

[Man20] Manual do chips família SX12XX <https://www.mouser.com/datasheet/2/761/sx1276-1278113.pdf>. Acessado em 2020

[Sim99] M. Simões, I. Shaw, “Controle e Modelagem Fuzzy. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 1999.