



EDITAL BOLSA DE PRODUTIVIDADE EM PESQUISA E EM DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO PQDT 2023-2024

RELATÓRIO DE EXECUÇÃO DE OBJETO – REO

1. IDENTIFICAÇÃO DO BOLSISTA PQ UFPI

Nome: Erico Meneses Leão

Departamento de Computação

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

2. IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

Título em Português: Mecanismos Eficientes para Disseminação de Dados em Aplicações IoT e RSSF de Larga Escala.

Título em Inglês: Efficient Mechanisms for Data Dissemination in Large-Scale WSN and Internet of Things Applications.

3. RESUMO DO PROJETO

Com o advento da Internet das Coisas (IoT – Internet of Things) no âmbito industrial, comercial e residencial, o desenvolvimento de aplicações e mecanismos de comunicação eficientes baseadas em Redes Sensores Sem Fio (RSSF) têm se tornado uma área atrativa, principalmente por sua adaptabilidade em ambientes de larga escala. Além de ser uma tecnologia adequada para ambientes de difícil acesso por sistemas cabeados e a atuação humana (WILLIG; MATHEUS; WOLISZ, 2005; AFSAR; TAYARANI-N, 2014), RSSFs compõem propriedades de dinamicidade, autonomia, operação colaborativa, mobilidade e flexibilidade no processo de comunicação (AKYILDIZ et al., 2002).

Com os crescentes avanços tecnológicos dos sistemas de comunicação sem fio e dos dispositivos Micro e Nano eletrônicos, as RSSFs têm sido apontadas com uma das tecnologias mais relevantes no âmbito de aplicações da Internet das Coisas. A principal ideia dessa revolução tecnológica é, além de conectar pessoas, animais, veículos e qualquer outro tipo de “objeto” a “qualquer hora” e em “qualquer lugar”, permitir que essas instâncias possam gerar e propagar informações de forma inteligente, autônoma e com custos reduzidos. Através do uso de dispositivos sensores cada vez mais robustos em termos de processamento, memória, armazenamento e comunicação, IoT permite que os “objetos” possam cooperar entre si, utilizando a Internet como infraestrutura global de comunicação, a fim de atingir objetivos comuns (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010; WHITMORE; AGARWAL; DA XU, 2014). Entre as principais áreas de aplicação de IoT, temos: cidades Inteligentes, automação industrial e residencial, veículos autônomos, agricultura de precisão e *smart healthcare* (STANKOVIC, 2008; BARONTI et al., 2007; KUMAR; OVSTHUS; KRISTENSEN, 2014; MAHMOOD; SEAH; WELCH, 2015).

Nos últimos anos, várias tecnologias móveis e protocolos foram liberados por órgãos de padronização e alianças industriais, tais como o IEEE 802.15.4 (IEEE Computer Society, 2015), Zigbee (ZigBee Alliance, 2012) e Long-Range (LoRa Documentation, 2019), que são adequados para construir RSSFs baseadas em redes sem fio de baixas taxas de transmissão. Dentro deste contexto, o conjunto de normas IEEE 802.15.4 (IEEE Computer Society, 2015) e ZigBee (ZigBee Alliance, 2012) é apontado como a pilha de protocolos mais amplamente utilizada para implementação de RSSFs, oferecendo capacidade de sensoriamento, mobilidade, autonomia e cooperação entre dispositivos, que são adequadas para aplicações de IoT. Este conjunto de normas oferece suporte para um tipo especial de topologia de rede *peer-to-peer* conhecido como redes *cluster-tree*, que são apontadas pela literatura como uma das topologias de rede mais adequadas para implementar RSSFs em larga escala (LI et al.,



2011; LIN; WANG; KONG, 2015). Este tipo de topologia permite implementações sob rigorosos requisitos de consumo de energia, escalabilidade e tempo real impostos por aplicações típicas de larga escala. Em redes cluster-tree, onde a comunicação é realizada por roteamento baseado em árvores através de relações pai-filho, os nós sensores são agrupados hierarquicamente em clusters vizinhos coordenados por um dispositivo especial chamado de Cluster-Head (CH).

Os CHs são responsáveis por fornecer sincronização para seus nós filhos associados e centralizar todas as atividades de comunicação dentro de seus clusters. O processo de formação é iniciado por um nó exclusivo chamado de coordenador PAN, que atua como coordenador da rede (e de seu próprio cluster) e é responsável por todas as atividades de gerenciamento. Após formar seu próprio cluster, o coordenador PAN pode selecionar uma quantidade específica de nós filhos para que possam formar seus próprios clusters. Este processo pode ser executado recursivamente, aumentando assim a cobertura de rede. Por fim, os clusters são interconectados através de seus nós coordenadores, formando assim uma estrutura multicluster hierárquica.

Basicamente, existem dois tipos de tráfego de dados em redes cluster-tree: tráfego de monitoramento (upstream) e tráfego de controle (downstream). O tráfego upstream é o padrão de tráfego mais comum e corresponde ao típico tráfego gerado pelos nós sensores, que são direcionadas a nós especiais, conhecidos como nós sink. O nó sink desempenha a função de coleta de dados dos nós sensores e é responsável por realizar a interface entre a RSSF e redes externas (como por exemplo a Internet, para aplicações IoT). Por sua vez, o tráfego downstream corresponde ao típico tráfego de comandos gerados pelos nós coordenadores, a fim de permitir atividades de controle e/ou reconfiguração da rede cluster-tree.

Apesar de uma série de benefícios do uso de topologias *cluster-tree* direcionadas a aplicações IoT, tais como sincronização de tempo, eficiência energética e a possibilidade de implementar mecanismos de agregação ou fusão de dados, este tipo de rede ainda apresenta sérias limitações geradas pelo seu modelo de comunicação hierárquico (baseado no roteamento em árvore), o que agrava métricas relevantes de rede relacionadas aos principais fluxos de dados gerados pelas aplicações (JURCIK et al., 2010). Além disso, a interoperabilidade entre tecnologias de RSSFs e a Internet (IoT) impõe uma série de desafios de pesquisa, o que motiva o desenvolvimento de mecanismos eficientes de comunicação para garantir qualidade de serviços para os principais fluxos de dados gerados pelos dispositivos de rede.

Dentro deste contexto, este projeto endereça o problema do desenvolvimento de mecanismos de comunicação para disseminar eficientemente os principais fluxos de dados para aplicações da Internet das Coisas, tanto a nível local (tecnologias baseadas em RSSFs), quanto a níveis mais geograficamente distribuídos (tecnologias de comunicação de larga escala e tecnologias baseadas na Internet), bem como a interoperabilidade entre essas tecnologias. Com isso, este projeto visa estudar e projetar um conjunto de mecanismos eficientes de comunicação para prover qualidade de serviço para ambos os fluxos de dados de monitoramento e fluxos de dados de controle para aplicações baseadas em RSSFs e IoT, garantindo assim os principais requisitos impostos por essas aplicações e evitando problemas típicos, tais como altos atrasos de comunicação, descarte de pacotes, congestionamento de rede e perda da integridade da informação do evento monitorado.

Com isso, este projeto de pesquisa pretende fornecer sólidas contribuições para o estado da arte na área de Redes de Sensores sem Fio e Internet da Coisas, além de permitir a formação de recursos humanos especializados e consolidar parcerias nacionais e internacionais.

4. IMPACTOS DO PROJETO PARA AVANÇO DO ESTADO DA ARTE

Como impactos, este projeto de pesquisa fornece contribuições para o avanço do estado da arte de RSSFs e IoT. Com o desenvolvimento de novos mecanismos eficientes de comunicação para aplicações baseadas em RSSFs e IoT, este projeto disponibiliza um conjunto de formulações e ferramentas que permitam a construção de Redes de Sensores sem fio *cluster-tree* de larga escala para lidar com o típico tráfego de monitoramento de forma otimizada, permitindo assim o projeto, implantação e desenvolvimento de aplicações IoT de alta relevância para o cenário atual. Dessa forma, este projeto considera os seguintes impactos técnicos-científicos:



- Desenvolvimento de abordagens eficientes de formação de redes *cluster-tree*, que considera os fluxos de dados gerados pelos nós sensores;
- O desenvolvimento de abordagens eficientes de comunicação, que visa otimizar os principais fluxos de comunicação de redes *cluster-tree* de larga escala, contribuindo diretamente no estado da arte da área de RSSFs;
- O desenvolvimento de mecanismos de escalonamento de rede, a fim de facilitar a disseminação de dados da RSSF para o gateway IoT e vice-versa;
- O desenvolvimento de mecanismos de filtragem de dados para aplicações IoT;
- Um conjunto de modelos de simulação para RSSFs *cluster-tree*, que permite o desenvolvimento, teste e validação de novos algoritmos e abordagens para RSSFs;

5. CONTRIBUIÇÕES DO PROJETO

Este projeto científico tem como principal contribuição a pesquisa, o projeto e avaliação de um conjunto de novos mecanismos eficientes de comunicação para garantir Qualidade de Serviço para os principais fluxos de dados de monitoramento e de controle para Redes de Sensores sem Fio *cluster-tree* de larga escala direcionado a aplicações da Internet das Coisas. Mais especificamente, a ideia subjacente é prover garantias de comunicação para os principais tráfegos de dados de aplicações baseadas em RSSFs e IoT, no que tange a: 1) disseminação eficiente do tráfego de dados de monitoramento do ambiente gerado periodicamente pelos dispositivos das RSSFs direcionado aos nós de ligação da rede com a Internet (comumente chamados de *gateway* IoT); e 2) disseminação eficiente do tráfego de dados de controle dos *gateways* IoT direcionado a nós de atuação na RSSFs.

Dentro desse contexto, podemos enumerar as seguintes contribuições da execução desse projeto:

- Pesquisar, projetar e avaliar uma abordagem meta-heurística BPSO (lightweight Binary Particle Swarm Optimization) para a reconfiguração de redes *cluster-tree* orientadas a dados com base no padrão IEEE 802.15.4. O objetivo desse mecanismo é reduzir a complexidade computacional ao buscar uma configuração topológica de rede adequada que melhore as métricas de QoS da rede.
- Pesquisar, projetar e avaliar um mecanismo de formação de topologia de rede auto organizável para RSSF *cluster-tree* com base nos dados detectados por nós sensores, a fim de priorizar adequadamente o tráfego de dados, melhorando o desempenho da rede relacionado a atrasos de comunicação, taxa de sucesso e tempo de vida da rede.
- Um conjunto de modelos de simulação de RSSF *cluster-tree* para avaliar o comportamento dos mecanismos propostos quando comparados com abordagens da literatura.

6. CONTRIBUIÇÕES DO PROJETO PARA FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS ESPECIALIZADOS PARA A ACADEMIA

Este projeto de pesquisa também fornece contribuições no que tange a formação de Recursos Humanos capacitados, através da participação direta de alunos da graduação, no âmbito da Iniciação Científica, e pós-graduação, com a participação de alunos de doutorado. Os respectivos alunos puderam desempenhar importantes atividades do projeto e vivenciar as principais etapas de um ambiente de pesquisa científico.

Dentro desse contexto, podemos destacar:

- 1 Trabalho de Iniciação Científica (PIBIC-UFPI) com aluno do curso de Ciência da Computação – UFPI, onde o aluno realizou aplicações reais utilizando dispositivos embarcados dentro do objeto de estudo desse projeto. O trabalho de iniciação científica



ocorreu no período 2023-2024 e o trabalho será divulgados no Seminário de Iniciação Científica da UFPI;

- 1 aluno de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas (PPGEAS/UFSC). O trabalho de doutorado em andamento, no qual sou coorientador, está relacionado a definição de mecanismos eficientes para formação de redes *cluster-tree*. O referido aluno deverá realizar sua defesa de tese até o final do ano de 2024.

7. CONTRIBUIÇÕES DO PROJETO PARA DIFUSÃO E TRANSFERÊNCIA DO CONHECIMENTO

Além das contribuições já explicitadas, este projeto de pesquisa também busca contribuir na divulgação e transferência de conhecimentos, através da submissão de trabalhos científicos de relevância e fortalecimento de grupos e parcerias de pesquisa. Dentro desse contexto, enumeramos a seguinte contribuição do presente projeto de pesquisa:

- Publicação de artigo científico no periódico internacional *Elsevier Internet of Things*, com o título: “*A lightweight BPSO mechanism for topology reconfiguration in data-driven IIoT plants*”, em 2024. O trabalho refere-se a uma abordagem de construção de topologia *cluster-tree* direcionada a dados baseada em um abordagem meta-heurística BPSO (Binary Particle Swarm Optimization), a fim de reduzir a complexidade computação quando busca a construção de uma configuração de topologia otimizada para melhorar métricas da rede.
- 1 resumo expandido de iniciação científica que será apresentado no Seminário de Iniciação Científica da UFPI em 2024;
- Fortalecimento e consolidação de cooperações nacionais e internacionais com pesquisadores da Universidade Federal de Santa Catarina (Profs. Carlos Montez e Ricardo Moraes - UFSC) e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Profs. Francisco Vasques e Paulo Portugal – FEUP – Portugal). Estas cooperações permitirão novas parcerias de projetos e formação de alunos de mestrado e doutorado;

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFSAR, M. M.; TAYARANI-N, M.-H. Clustering in Sensor Networks. *Journal of Network and Computer Applications*, v. 46, n. C, p. 198–226, nov. 2014.

AKYILDIZ, I. F. et al. Wireless Sensor Networks: a Survey. *Computer Networks*, v. 38, n. 4, p. 393–422, mar. 2002.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, out. 2010.

BARONTI, P. et al. Wireless Sensor Networks: A Survey on the State of the Art and the 802.15.4 and ZigBee standards. *Computer Communications*, v. 30, n. 7, p. 1655–1695, maio 2007.

IEEE Computer Society. IEEE Standard Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). [S.l.], v. 2015, p. 1–709, dez. 2015.

JURCIK, P. et al. Dimensioning and Worst-Case Analysis of Cluster-Tree Sensor Networks. *ACM Transactions on Sensor Networks*, v. 7, n. 2, ago. 2010.

KUMAR, A. A. S.; OVSTHUS, K.; KRISTENSEN, L. M. An Industrial Perspective on Wireless Sensor Networks - A Survey of Requirements, Protocols, and Challenges. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, v. 16, n. 3, p. 1391–1412, 2014.



LI, C. et al. A Survey on Routing Protocols for Large-Scale Wireless Sensor Networks. *Sensors*, v. 11, n. 12, p. 3498–3526, dez. 2011.

LIN, H.; WANG, L.; KONG, R. Energy Efficient Clustering Protocol for Large-Scale Sensor Networks. *IEEE Sensors Journal*, v. 15, n. 12, p. 7150–7160, 2015.

MAHMOOD, M. A.; SEAH, W. K. G.; WELCH, I. Reliability in Wireless Sensor Networks: A Survey and Challenges Ahead. *Computer Networks*, v. 79, p. 166–187, mar. 2015.

STANKOVIC, J. A. When Sensor and Actuator Networks Cover the World. *ETRI Journal*, v. 30, n. 5, p. 627–633, out. 2008.

WHITMORE, A.; AGARWAL, A.; DA XU, L. The Internet of Things – A survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, Springer US, v. 17, n. 2, p. 261–274, mar. 2014.

WILLIG, A.; MATHEUS, K.; WOLISZ, A. Wireless Technology in Industrial Networks. *Proceedings of the IEEE*, v. 93, n. 6, p. 1130–1151, 2005.

ZIGBEE ALLIANCE. ZigBee Specification (Doc. 053474r20). [S.l.], v. 2012, p. 1–622, set. 2012.

Local: Teresina - PI

Data: 06 / 09 / 2024

Prof. Erico Meneses Leão
Bolsista de Produtividade – UFPI