

Composição de Relacionamentos entre Objetos na Abordagem VISO: Exploração de Algoritmos para Análise de Links

Guilherme Lima¹, Thalía Longaray¹, Leandro Camargo²,
Adenauer Yamin¹, Ana Pernas¹

¹Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – 96.010-610 – Pelotas – RS – Brasil.

²Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul) – 96.418-400 – Bagé – RS – Brasil.

{gdlima, tdclongaray, leandro.camargo}@inf.ufpel.edu.br
{adenauer, marilza}@inf.ufpel.edu.br

Abstract. *The Social Internet of Things (SIoT) enhances service composition and enriches user experience. The management of relationships in SIoT between objects is of paramount importance to guarantee the stability and security of society. The Virtual Interactions between Social Objects (VISO) approach seeks to manage relationships between objects within the scope of SIoT. This work contributes to relationship management at VISO through an exploratory study of relevant algorithms identified in the literature, namely: PageRank, Prim and Kruskal. The analysis is carried out based on the iterations and structure of the object society, highlighting the contributions.*

Resumo. *A Social Internet of Things (SIoT) aprimora a composição de serviços e enriquece a experiência do usuário. A gestão de relacionamentos na SIoT entre os objetos é de suma importância para garantir a estabilidade e segurança da sociedade. A abordagem Virtual Interactions between Social Objects (VISO) busca gerenciar as relações entre objetos no âmbito da SIoT. Este trabalho contribui para a gestão de relacionamentos na VISO por meio de um estudo exploratório sobre algoritmos relevantes identificados na literatura, sendo estes: PageRank, Prim e Kruskal. A análise é realizada com base nas iterações e na estrutura da sociedade de objetos, destacando as contribuições.*

1. Introdução

A Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things* - IoT) é um paradigma bem definido no cenário atual da computação interconectada. Os objetos cotidianos estão sendo incorporados com tecnologias computacionais, como sensores, atuadores, dispositivos de comunicação, entre outros [Singh et al. 2020]. Atualmente, esses objetos já têm a capacidade de interagir com outros de suas relações, para realizar de forma coordenada as tarefas necessárias para que sejam alcançados os resultados coletivamente desejados [Roopa et al. 2019].

Considerando este cenário, surge um novo paradigma no âmbito da IoT: a Internet das Coisas Social (do inglês *Social Internet of Things* - SIoT) [Roopa et al. 2019]. A SIoT concentra-se nas interações e relacionamentos entre objetos inteligentes. Seu principal objetivo é aprimorar a composição de serviços e enriquecer a experiência do usuário com base em relações sociais estabelecidas entre esses objetos [Khelloufi et al. 2020].

Na SIIoT, o gerenciamento de relações sociais entre os objetos é uma questão importante para a estabilidade e segurança da sociedade em que os dispositivos estão inseridos. Com esse propósito, surge a abordagem Interações Virtuais entre Objetos Sociais (do inglês *Virtual Interactions between Social Objects* - VISO). Esta abordagem propõe a gestão das conexões entre objetos no contexto da SIIoT considerando os *feedbacks* positivos e negativos emitidos pelos membros da sociedade [Camargo et al. 2022].

A estratégia adotada pela VISO para a composição dos relacionamentos é destacar o papel dos objetos mais adequados para estabelecer conexões com novos membros da sociedade de objetos. Cada objeto emite uma avaliação do serviço prestado por seus adjacentes. O objeto que recebe o maior número de avaliações positivas é considerado o mais relevante dentro do grupo de objetos [Camargo et al. 2022]. Assim, a classificação dos objetos é determinada pelos pares após a troca de informações ou serviços prestados.

Considerando que a estrutura da sociedade pode ser representada por um grafo, onde os nós correspondem aos objetos e as arestas representam suas relações, o objetivo do estudo deste artigo é realizar um estudo exploratório de algoritmos para melhorar a eficiência na gestão de relacionamentos na abordagem VISO. Com isso, os algoritmos PageRank [Brin and Page 1998], Prim [Furqan et al. 2018] e Kruskal [Cormen et al. 2009] são elencados por operarem sobre estruturas que podem assumir representação em grafo.

A análise dos algoritmos é realizada com base nas iterações executadas e na estrutura da sociedade de objetos. Sendo assim, são destacadas as contribuições de cada algoritmo para o gerenciamento das relações na abordagem VISO e as otimizações proporcionadas para a composição dos serviços.

Para alcançar esse objetivo, realiza-se um estudo sobre IoT e SIIoT, bem como sobre algoritmos de caminho mais curto e classificação de importância em redes. O trabalho está dividido em sete seções. A Seção 1 introduz o trabalho, apresentando suas motivações e objetivos. As Seções 2 e 3 revisam a base conceitual, incluindo uma visão geral da VISO. A Seção 4 descreve os algoritmos de árvore geradora mínima explorados. A Seção 5 discute estudos relacionados. A Seção 6 detalha os materiais e métodos, além de avaliar os algoritmos. Finalmente, A Seção 7 apresenta as conclusões, destacando as principais contribuições e trabalhos futuros.

2. Internet das Coisas

A IoT possui como conceito fundamental a presença difundida de uma variedade de coisas ou objetos no ambiente [Atzori et al. 2010], os quais, através da conectividade, podem interagir e colaborar entre si para atingir objetivos comuns [Singh et al. 2020].

A IoT engloba uma ampla gama de dispositivos, desde sensores de temperatura em cozinhas inteligentes para detectar aumentos repentinos de temperatura até alarmes de incêndio que, ao serem informados por esses sensores, acionam sistemas de irrigação para controlar a situação.

De acordo com o relatório *State of IoT – Spring 2023* da *IoT Analytics*, foram registrados 16,7 bilhões de dispositivos IoT conectados à internet em 2023, representando um aumento de 16% em comparação com 2022, quando havia 14,2 bilhões de dispositivos na rede [Analytics 2023]. Estatísticas apresentadas pelo Gartner indicam uma projeção de que 25 bilhões de dispositivos estarão conectados à IoT até 2025 [Gartner 2019].

Cada dispositivo IoT possui sua própria arquitetura, o que os torna heterogêneos. O aumento de dispositivos conectados à rede e sua heterogeneidade implicam em diversos desafios, dos quais destacam-se: a interoperabilidade, a conectividade, a segurança e a descoberta de serviços, conforme discutido em [Elkhodr et al. 2016].

3. Internet das Coisas Social

A SIoT emerge como um novo paradigma dentro da IoT, com o propósito de solucionar desafios relacionados à descoberta e composição de serviços [Khelloufi et al. 2020]. A SIoT realiza um mapeamento entre a rede social dos humanos e o ciberespaço, estabelecendo relações entre os objetos inteligentes presentes no ambiente. Assim, a SIoT gera uma sociedade de objetos inteligentes, voltada para comunicação, coleta e transferência de dados, otimizando a composição de serviços de acordo com as preferências identificadas a partir dos proprietários desses objetos.

Como premissa da SIoT, os relacionamentos entre os objetos que compõem uma sociedade devem ser estabelecidos sem intervenção direta do usuário. O principal desafio reside no estabelecimento e na gestão dessas relações, tarefas que exigem a ativação da inteligência dos objetos para que, com o auxílio de um *middleware*, sejam viabilizadas desde a criação até a finalização ou atualização das relações [Aldelaimi et al. 2020].

Na SIoT, as sociedades são comumente expressas por meio de grafos, que oferecem uma representação abstrata das interações entre os objetos, onde cada objeto é um vértice e as arestas denotam as relações existentes entre eles. Tanto vértices quanto arestas podem ser ponderados, indicando o custo associado à conexão entre os vértices [Thulasiraman and Swamy 2011]. Através do modelo de grafo, torna-se possível gerenciar as relações entre objetos, fazendo uso de algoritmos e métricas para essa finalidade.

A gestão dos relacionamentos possibilita que os objetos emergentes na sociedade identifiquem quais dispositivos podem estabelecer conexões e trocar informações, visando manter um ambiente estável e seguro. Isso é alcançado por meio de uma série de parâmetros, como o histórico de transações anteriores ou a opinião emitida pelos objetos com os quais se relacionam.

3.1. Abordagem VISO

A abordagem VISO incorpora a teoria das redes sociais, especificamente a Análise de Redes Organizacionais (ONA), para estruturar a sociedade e facilitar a interação entre os objetos. Além disso, considera os *feedbacks* fornecidos pelos membros da sociedade para gerenciar as relações e manter o ambiente estável e seguro [Camargo et al. 2022].

A VISO tem como principal funcionalidade identificar o objeto mais relevante em um ambiente SIoT, ou seja, aquele com o maior número de *feedbacks* positivos. Dessa forma, novos objetos podem ser direcionados ao adjacente mais adequado para compor serviços requisitados. O algoritmo utilizado para essa classificação é o PageRank, que analisa os *links* e ranqueia os objetos de acordo com a relevância. Ele é parametrizado pela quantidade de *feedbacks* positivos de cada objeto [Camargo et al. 2024].

Visando aprimorar a gestão de relacionamentos na abordagem VISO, descrita em [Camargo et al. 2024], explora-se o conceito de Árvore Geradora Mínima utilizando algoritmos de caminho mais curto. Esses algoritmos buscam identificar as trajetórias de comunicação mais eficazes até os objetos de maior relevância na sociedade.

4. Algoritmos de Árvore Geradora Mínima

A Árvore Geradora Mínima (do inglês *Minimum Spanning Tree* - MST), dentro do contexto da SIoT, representa um subconjunto otimizado de conexões entre objetos que mantém todos os elementos interconectados. Essa estrutura é projetada para minimizar o custo total das conexões.

A MST é uma estrutura acíclica que abrange todos os dispositivos, permitindo que as informações fluam eficientemente entre qualquer par de dispositivos por meio das conexões estabelecidas na árvore [Cormen et al. 2009]. Os algoritmos de Prim e Kruskal desempenham um papel essencial nesse processo, possibilitando a criação de estruturas eficientes e livres de ciclos.

4.1. Algoritmo de Prim

O algoritmo de Prim, desenvolvido por Robert C. Prim em 1957, é amplamente utilizado para encontrar a MST de um grafo ponderado. Conforme descrito pelo autor [Furqan et al. 2018], o algoritmo de Prim usa o conceito de conjunto de processamento de grafos por lados de classificação. Este algoritmo processa os lados do grafo aleatoriamente, construindo conjuntos disjuntos a partir deles.

O algoritmo de Prim constrói uma MST por meio de uma sequência de propagação de subárvores. Assim, a primeira subárvore consiste em um único vértice selecionado do conjunto V dos vértices do grafo. Dentro de cada iteração, este algoritmo expande uma árvore usando a técnica gulosa, ligando-a ao nó mais próximo que não está na árvore criada, isto é, o nó que não está conectado ao nó existente na árvore com o lado mínimo ponderado. A parada do algoritmo ocorre quando todos os nós do grafo encontram-se inseridos na árvore criada e conectados sem formar um ciclo.

Alguns trabalhos recentes abordam o algoritmo de Prim, como, por exemplo, [Lestari et al. 2023] empregou esse algoritmo para melhorar a eficiência na entrega de pacotes, [Wirabudi et al. 2022] e [Freschi and Lattanzi 2021] também exploraram o uso desse algoritmo no controle autônomo de drones para entrega de pacotes e calibração de múltiplos saltos de sistemas embarcados em rede.

4.2. Algoritmo de Kruskal

O algoritmo de Kruskal, concebido por Joseph Kruskal em 1956, é uma técnica usada para encontrar a MST de um grafo ponderado, no qual cada aresta possui um peso. Conforme descrito pelo autor [Cormen et al. 2009], o algoritmo funciona encontrando uma aresta segura para adicionar à floresta que está sendo construída, selecionando, entre todas as arestas que conectam quaisquer duas árvores na floresta, uma aresta (u, v) de peso mínimo. Sejam $C1$ e $C2$ as duas árvores conectadas por (u, v) . Visto que (u, v) deve ser uma aresta leve que conecta $C1$ a alguma outra árvore. O algoritmo de Kruskal é classificado como um algoritmo guloso porque, em cada etapa, ele adiciona à floresta a aresta de menor peso possível.

O estudo realizado por [Wang et al. 2021] explora o algoritmo de Kruskal com o propósito de otimizar e processar imagens. Por outro lado, o trabalho conduzido por [Pavana and Triveni 2015] se concentra na restauração de sistemas elétricos em redes de distribuição aplicando o mesmo algoritmo.

5. Trabalhos Relacionados

Os estudos correlatos revisados oferecem diversas contribuições para facilitar as interações entre objetos, utilizando métricas variadas para avaliá-las. Apesar de não terem sido encontrados trabalhos que abordem os algoritmos supracitados em soluções SIoT, as métricas aplicadas nestes estudos foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

[Roopa et al. 2019] avalia características internas da rede, tais como, grau, diversidade, coeficiente de agrupamento, centralidade de intermediação e de proximidade de um objeto para navegar na rede SIoT. Estas características contribuem para a composição e o gerenciamento de relacionamentos na SIoT, ampliando adaptabilidade e abrangência e otimizando as interações dos objetos socialmente interconectados.

[Meena Kowshalya and Valarmathi 2018] promove a comunicação confiável em uma comunidade SIoT, propondo um modelo baseado na confiança e na reputação, que considera propriedades como honestidade, cooperação, interesse comunitário e energia. Esta pesquisa visa melhorar a colaboração entre os nós, otimizando a interação e o desempenho das aplicações IoT.

[Vidal-Silva et al. 2019] realiza uma comparação entre os algoritmos Kruskal e PageRank em ambientes de processamento distribuído em grande escala. A análise se baseia em métricas como o número de passos e o tempo de execução. Essa comparação fornece *insights* sobre o desempenho relativo desses algoritmos nos ambientes mencionados, auxiliando na escolha do algoritmo mais adequado para projetos similares.

6. Materiais e Métodos

Para validar a aplicação dos algoritmos à abordagem VISO, foram utilizados dados de dispositivos reais em um cenário experimental. No entanto, durante a primeira etapa, observou-se que os dados tinham limitações estruturais e lacunas para a execução dos algoritmos na classificação das relações sociais. Para contornar isso, foram gerados dados sintéticos em um ambiente de simulação, permitindo a inclusão de novos atributos. Esses dados sintéticos foram então processados pelos algoritmos na VISO e os resultados obtidos, que incluem a classificação da relevância dos objetos e suas interações correspondentes, foram utilizados nos testes realizados neste estudo.

O cenário de simulação foi modelado no SeSAM¹, o qual permite a especificação das atividades e de alguns aspectos dinâmicos do ambiente, como também dos agentes. A especificação de variáveis do experimento foi realizada na linguagem Python², visando simplificar o processo de definição, ajustes e simulações, sem a necessidade de configuração em diferentes locais dentro da ferramenta de simulação.

A ferramenta de simulação permite ampliar a complexidade do ambiente de socialização, com a inserção de 50 a 250 objetos, interagindo livremente e estabelecendo as relações. Neste cenário, foram demarcados três pontos de corte para análise, com 1.000, 5.000, 10.000 e 25.000 interações. Os resultados observados, caracterizam a abordagem VISO como inovadora e promissora para o gerenciamento dinâmico de relacionamentos entre objetos de um ambiente inteligente, agrupando-os em comunidades de interesse, no intuito de facilitar a troca de informações e serviços, bem como melhorar

¹<https://sourceforge.net/projects/sesam/>

²<https://www.python.org/>

a confiança e o engajamento dos objetos contribuindo para a experiência em ambientes inteligentes da IoT.

Importante destacar que, durante os testes, foram analisados resultados obtidos tanto com uso de dados reais quanto com uso de dados sintéticos, os quais apresentaram valores similares. Os dados sintéticos foram obtidos a partir de uma síntese de dez gerações no ambiente de simulação, buscando evitar a produção de dados com viés.

6.1. Descrição dos Testes

Os dados sintéticos utilizados trazem a identificação do objeto solicitante de um serviço e o objeto provedor que atendeu a requisição. Além disso, cada interação entre os objetos tem uma avaliação, com valor de referência 1 para transações relevantes e satisfatórias ou 0 quando o serviço prestado é irrelevante na perspectiva do solicitante. O SeSAM oferece um ambiente genérico para modelagem e experimentação baseada em agentes, com um foco espacial que facilita a construção de modelos complexos, incluindo interdependências dinâmicas e comportamentos emergentes [Klügl et al. 2006].

Os algoritmos considerados têm a função de identificar a rota mais eficiente até o objeto mais relevante na sociedade. Para avaliá-los, são utilizadas como métricas a quantidade de iterações executadas pelos algoritmos e a estrutura do grafo. A execução é realizada com base nos conjuntos de dados gerados pelo simulador. A classificação dos objetos é definida com base na quantidade de serviços prestados, seja positiva ou negativamente, e o objeto que acumula o maior número de serviços prestados avaliados positivamente se torna o mais relevante na sociedade. As Figuras 1(a) e 1(b) ilustram árvores mínimas geradas pelos algoritmos de Kruskal e Prim.

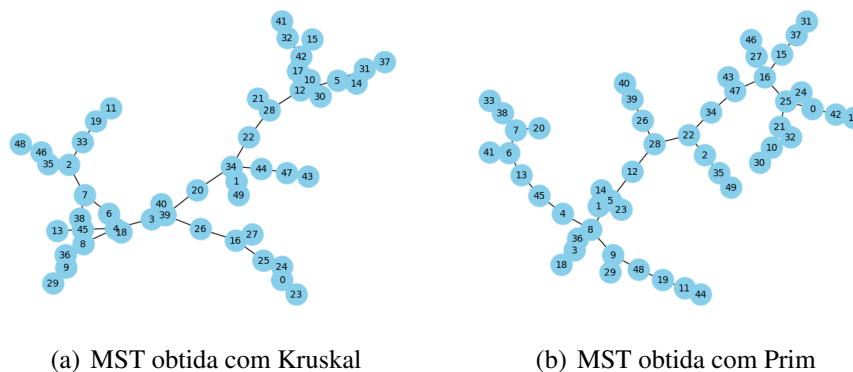


Figura 1. Simulações de MST executadas sobre a mesma base de dados

Ambas as árvores apresentam estruturas semelhantes, embora não idênticas, o que reflete o comportamento dos algoritmos mencionados anteriormente. Portanto, as características da estrutura da sociedade devem ser levadas em consideração para a comparação dos algoritmos.

Os algoritmos de Prim e Kruskal requerem pesos nas arestas, com o PageRank sendo executado previamente para atribuí-los. Na atribuição dos pesos, apenas os *feedbacks* positivos foram considerados, sem levar em conta o serviço requisitado ou a topologia da rede. Os percentuais de iterações na Figura 2 representam os custos dos al-

goritmos e do cálculo dos pesos das arestas. Em ambientes dinâmicos, com novos objetos ou relações estabelecidas, é necessário executar o PageRank para atualizar os pesos.

6.2. Resultados Obtidos

Os algoritmos testados para classificar os relacionamentos entre objetos da SIoT foram avaliados em diversos cenários, variando o número de objetos e o volume de interações no ambiente. A Figura 2 mostra o desempenho dos algoritmos Prim, Kruskal e PageRank em um cenário com 250 objetos e interações variando de 5.000 a 25.000. A medição de desempenho considerou apenas as interações com *feedback* positivo, indicando que o serviço prestado foi considerado relevante e satisfatório pelo solicitante.

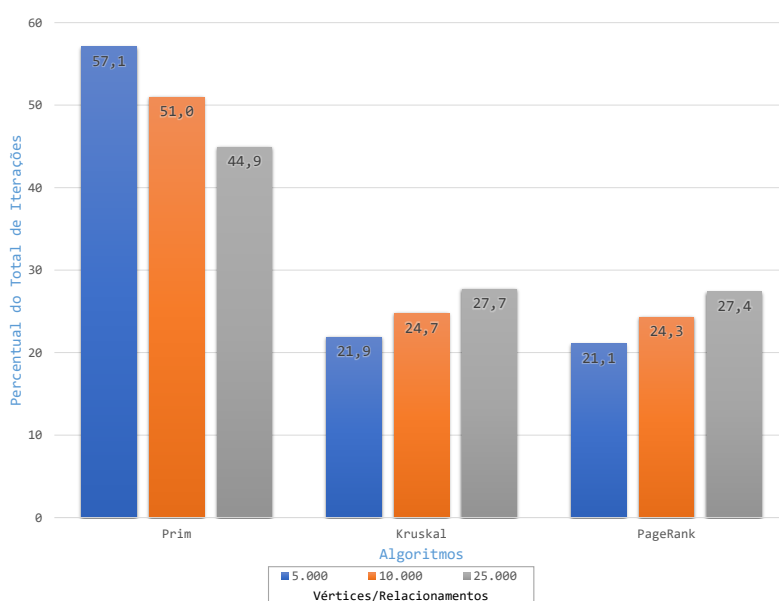


Figura 2. Percentual de iterações demandadas pelos algoritmos analisados

O algoritmo de Kruskal mostra-se promissor para grupos de objetos com características e serviços semelhantes, identificando a melhor opção localmente para fornecer serviços em momentos específicos. Sua eficiência implica em um custo computacional mais baixo comparado aos outros algoritmos analisados.

Por outro lado, o algoritmo de Prim apresenta maior custo computacional devido à sua natureza exploratória, que examina todos os caminhos possíveis, sendo, por essência, um algoritmo guloso. Embora produza resultados semelhantes ao PageRank, requer um esforço computacional mais elevado.

Além das questões de iteração apresentadas, o algoritmo PageRank se mostra mais promissor para a socialização entre objetos, pois considera a importância local de todos os objetos que interagiram com um provedor de serviço para ranquear os mais relevantes. De outro modo, os outros dois algoritmos, Prim e Kruskal, são focados no melhor caminho entre o requerente e o provedor, que nem sempre se traduz no provedor mais relevante ou que, conseqüentemente, tem mais chances de prestar o serviço de forma mais adequada. Como resultado das tabulações dos dados gerados com a aplicação dos algoritmos, algumas considerações são apresentadas a seguir.

6.3. Inferências nos Dados Coletados

A partir dos dados gerados pelos algoritmos selecionados, é possível avaliar a complexidade das interações entre os objetos presentes em um ambiente inteligente. Com o aumento das interações nesse tipo de ambiente, suas análises e a definição do objeto provedor mais relevante se tornam atividades computacionalmente custosas.

Diante da complexidade das interações na SIoT e da necessidade de reduzir o espaço de busca por conexões, foram exploradas diferentes estratégias para Análise de *Links*. Assim, através do PageRank, identifica-se o objeto mais relevante para compor o serviço entre os pares. Além disso, ao integrar novos objetos à sociedade, os algoritmos de Prim e Kruskal desempenham um papel crucial ao fornecer um caminho eficiente até os objetos mais relevantes no cenário.

Os algoritmos PageRank e MST apresentam características que podem auxiliar na estabilidade e segurança da sociedade de objetos, pois de acordo com a heurística definida podem minimizar interações com objetos que receberam *feedbacks* negativos e impedindo que objetos banidos interajam. Esses algoritmos podem aumentar a eficiência energética, otimizando o processo de solicitação e prestação de serviços. Combinados, eles otimizam a composição de serviços, aumentam a estabilidade da rede e contribuem para a segurança na SIoT.

6.4. Síntese

Os testes realizados nas bases de dados geradas por meio do simulador SeSAm proporcionaram discussões sobre os possíveis benefícios da aplicação dos algoritmos destacados na abordagem VISO. Os algoritmos apresentam contribuições que variam de acordo com a organização do ambiente inteligente.

As interações sociais estabelecidas por um grupo de objetos que trabalham em conjunto estabelecem um relacionamento do tipo *Co-Work Object Relationship* (CWOR) [Roopa et al. 2019]. Eles podem se beneficiar do algoritmo de Prim para selecionar o menor caminho para a seleção do provedor de um determinado serviço.

As relações estabelecidas com base na localização, denominadas como *Co-Location Object Relationship* (CLOR) [Roopa et al. 2019], podem ser favorecidas pelo algoritmo de Kruskal, que permite mapear completamente uma área que normalmente sofre pouca renovação de objetos, logo, não exige uma atualização frequente e compensa o custo computacional envolvido nesse mapeamento do ambiente.

Os demais relacionamentos, que são focados na socialização, tais como: *Parental Object RelationShip* (POR), *Social Object Relationship* (SOR) e *Ownership Object Relationship* (OOR) [Roopa et al. 2019], podem se beneficiar da classificação baseada na relevância dos objetos provedores de serviços. Essa relevância, por sua vez, é calculada com base na importância dos objetos que solicitam um serviço.

Os documentos que integram o projeto da abordagem VISO foram organizados em pastas na estrutura do repositório de dados mantido pelo projeto - *Open Science Framework* (OSF)³. A próxima seção apresenta as considerações finais deste trabalho, destacando as contribuições oferecidas para a socialização dos objetos gerida pela abordagem VISO. Além disso, os trabalhos futuros também são elencados.

³<https://osf.io/b6zvn/>

7. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Este estudo analisou os algoritmos PageRank, Prim e Kruskal, focando na composição e gestão de relacionamentos entre objetos na SIoT, com possível aplicação na abordagem VISO. Suas principais contribuições envolvem a análise da complexidade dos algoritmos, incluindo o número de iterações realizadas por cada um, e a síntese dos resultados das métricas avaliadas, como o número de objetos participantes da socialização e suas interações com *feedback* positivo.

O resgate conceitual na área da SIoT facilitou a implementação dos algoritmos selecionados e a criação de grafos para representação dos relacionamentos. A revisão da literatura auxiliou na modelagem dos agentes e do ambiente de simulação e na definição dos parâmetros de recursos, atividades, transições e situações, alcançando a maior proximidade possível de um cenário real da SIoT.

Os testes realizados destacaram a importância da composição de serviços e da gestão de relacionamentos dos objetos sociais, dada a complexidade da rede de interações, independentemente do número de objetos ativos no ambiente. Além disso, foram identificadas formas de otimizar a gestão de relacionamentos aplicando os algoritmos PageRank, Prim e Kruskal, dependendo das características observadas em cada ambiente.

Para trabalhos futuros, planeja-se dar continuidade à pesquisa, visando aprimorar a composição de serviços e a gestão das relações entre objetos sociais. Os resultados obtidos neste estudo servirão de base para avanços na abordagem VISO, permitindo maior flexibilidade na arquitetura por meio de ajustes na composição de comunidades, com base nas habilidades dos objetos ou em grupos de interação. Portanto, a adoção de algoritmos com diferentes características funcionais mostrou-se crucial para garantir a adaptabilidade da abordagem VISO às diversas circunstâncias operacionais da sociedade de objetos.

Referências

- Aldelaimi, M. N., Hossain, M. A., and Alhamid, M. F. (2020). Building dynamic communities of interest for internet of things in smart cities. *Sensors*, 20(10):2986.
- Analytics, I. (2023). State of iot – spring 2023. Accessed on March 17, 2024.
- Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15):2787–2805.
- Brin, S. and Page, L. (1998). The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. *Computer networks and ISDN systems*, 30(1-7):107–117.
- Camargo, L., Pauletti, J., Pernas, A., and Yamin, A. (2024). Viso approach: A socialization proposal for the internet of things objects. *Future Generation Computer Systems*, 150:326–340.
- Camargo, L., Pernas, A., and Yamin, A. (2022). A conceptual model for autonomic relationships in the social internet of things. In *Anais do XXVIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web*, pages 327–335, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., and Stein, C. (2009). *Introduction to Algorithms, Third Edition*. MIT Press, 3rd edition.
- Elkhodr, M., Shahrestani, S., and Cheung, H. (2016). The internet of things: New interoperability, management and security challenges. *arXiv preprint arXiv:1604.04824*.

- Freschi, V. and Lattanzi, E. (2021). A prim–dijkstra algorithm for multihop calibration of networked embedded systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(14):11320–11328.
- Furqan, M., Mawengkang, H., Sitompul, O. S., Siahaan, A., Siahaan, M. D. L., and Nasution, N. (2018). A review of prim and genetic algorithms in finding and determining routes on connected weighted graphs. *Int. J. Civ. Eng. Technol*, 9(9):1755–1765.
- Gartner, T. I. (2019). Strategic iot technologies and trends, gartner. Accessed on March 17, 2024.
- Khelloufi, A., Ning, H., Dhelim, S., Qiu, T., Ma, J., Huang, R., and Atzori, L. (2020). A social-relationships-based service recommendation system for iot devices. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(3):1859–1870.
- Klügl, F., Herrler, R., and Fehler, M. (2006). Sesam: implementation of agent-based simulation using visual programming. In *Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, pages 1439–1440.
- Lestari, A. D., Pertiwi, D. A. A., and Muslim, M. A. (2023). Increasing package delivery efficiency through the application of the prim algorithm to find the shortest route on the expedition route. *Journal of Student Research Exploration*, 1(1):7–14.
- Meena Kowshalya, A. and Valarmathi, M. (2018). Dynamic trust management for secure communications in social internet of things (siot). *Sādhanā*, 43(9):136.
- Pavana, D. and Triveni, M. (2015). Power system restoration in distribution network through reconfiguration using mst-kruskal’s algorithm. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, pages 295–299.
- Roopa, M., Pattar, S., Buyya, R., Venugopal, K. R., Iyengar, S., and Patnaik, L. (2019). Social internet of things (siot): Foundations, thrust areas, systematic review and future directions. *Computer Communications*, 139:32–57.
- Singh, R. P., Javaid, M., Haleem, A., and Suman, R. (2020). Internet of things (iot) applications to fight against covid-19 pandemic. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 14(4):521–524.
- Thulasiraman, K. and Swamy, M. N. (2011). *Graphs: theory and algorithms*. John Wiley & Sons.
- Vidal-Silva, C. L., Madariaga, E., Pham, T., Rubio, J. M., Urzua, L. A., Carter, L., and Johnson, F. (2019). Advantages of giraph over hadoop in graph processing. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9(3):4112–4115.
- Wang, L., Wu, B., and Yuan, J. (2021). Kruskal algorithm for construction network diagram. In *Application of Intelligent Systems in Multi-modal Information Analytics: 2021 International Conference on Multi-modal Information Analytics (MMIA 2021), Volume 2*, pages 240–244. Springer.
- Wirabudi, A. A., Hafiza, L., and Fachrurrozi, N. R. (2022). Design autonomous drone control for delivery package using prim algorithm and waypoint method. In *2022 13th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, pages 1183–1188. IEEE.