

ARTIGO COMPLETO/FULL PAPER

Gerenciamento de serviços e dispositivos de rede à partir da fonte de verdade da rede (SoT)

Management of network services and devices from the network source of truth (SoT)

Jerônimo Menezes • ✉ jeronimo@cpd.ufrgs.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)

Diego Kreutz • ✉ diegokreutz@unipampa.edu.br
Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)

Rodrigo Mansilha • ✉ rodrigomansilha@unipampa.edu.br
Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)

RESUMO. As redes modernas são compostas por um número crescente de dispositivos e serviços, tornando o gerenciamento dessa infraestrutura cada vez mais complexo devido à diversidade de protocolos e versões de software. Nesse contexto, documentar e manter atualizadas as informações da infraestrutura é essencial para a operação de redes heterogêneas. Este trabalho propõe uma arquitetura para integração e gerenciamento de dispositivos e serviços de rede por meio de uma SoT centralizada. A prova de conceito foi implementada com um protótipo que automatiza a configuração de dispositivos de rede e, experimentalmente, foi avaliada em sua capacidade de reduzir o tempo de operação no gerenciamento desses dispositivos.

ABSTRACT. Modern networks consist of an increasing number of devices and services, making infrastructure management increasingly complex due to the diversity of protocols and software versions. In this context, documenting and keeping infrastructure information up to date is essential for operating heterogeneous networks. This work proposes an architecture for integrating and managing network devices and services through a centralized SoT. The proof of concept was implemented with a prototype that automates network device configuration and was experimentally evaluated for its ability to reduce operational time in device management.

PALAVRAS-CHAVE: Automação de Redes • Fonte de Verdade da Rede • SoT • Netbox • Netmiko

KEYWORDS: Network Automation • Network Source of Truth • SoT • Netbox • Netmiko

1 Introdução

As redes modernas enfrentam desafios crescentes devido à diversidade de dispositivos e serviços [1]. O gerenciamento de redes heterogêneas torna-se cada vez mais complexo, à medida que diferentes protocolos e dispositivos de múltiplos fabricantes precisam operar em conjunto. Além disso, soluções integradas e centralizadas, desenvolvidas para atender dispositivos de um único fabricante, muitas vezes geram dependência tecnológica, ou *lock-in*, limitando a flexibilidade da rede e aumentando os custos operacionais. Em cenários de *lock-in*, as organizações ficam restritas às soluções de um único fornecedor para manutenção, atualizações e expansões, comprometendo sua capacidade de incorporar novas tecnologias de forma eficiente.

Redes com dispositivos de diferentes fabricantes

Jerônimo Menezes é Analista de Tecnologia da Informação na Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS e Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Software na Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA.

exigem maior flexibilidade, tornando o uso de uma fonte de verdade (*Source of Truth* – SoT) ou uma única fonte de verdade (*Single Source of Truth* – SSoT) fundamental para centralizar, de forma neutra, as intenções de configuração. As SoTs têm sido aplicadas em diversos contextos para resolver problemas de duplicação de dados, consistência, gerenciamento de políticas e controle de entidades, entre outros [2–6].

No contexto de gerenciamento de redes, a SoT centraliza configurações e políticas, atuando como ponto de referência confiável para o provisionamento automatizado de serviços e dispositivos, o que facilita a interoperabilidade entre soluções de diferentes fornecedores. Ao eliminar intervenções manuais, a automação baseada em SoT garante que o estado operacional da rede esteja sempre em conformidade com o estado desejado, minimizando erros e aumentando a eficiência.

Com essa abordagem, a integração da SoT também permite a implementação de micros serviços que traduzem e executam as configurações necessárias em cada

dispositivo, mantendo a operação alinhada com as intenções originais. Esse modelo modular contribui para uma gestão mais eficaz de redes heterogêneas, garantindo que o ciclo de vida de dispositivos e serviços seja continuamente monitorado e atualizado de forma automática.

Para aprimorar o gerenciamento de redes, este trabalho propõe uma solução modular e em camadas, integrada à SoT, para gerenciar dispositivos e serviços em redes heterogêneas. A solução visa assegurar a coerência entre o estado desejado e o estado operacional dos dispositivos. Quando um serviço ou dispositivo é configurado na SoT, ela notifica o sistema de automação, que aplica as alterações no dispositivo. Essa integração contínua garante que o estado dos dispositivos e serviços seja atualizado automaticamente ao longo de todo o ciclo de vida, mantendo a documentação consistente.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. A arquitetura da solução é apresentada na Seção 3, seguida de uma comparação com outros trabalhos na Seção 2. A Seção 4 detalha a implementação como prova de conceito, utilizada em uma avaliação experimental descrita na Seção 5. Por fim, as considerações finais são discutidas na Seção 6.

2 Trabalhos Relacionados

A literatura apresenta algumas soluções para o gerenciamento de dispositivos em redes heterogêneas [7–10]. O trabalho mais relevante propõe uma solução semelhante, voltada para minimizar a interação manual com esses dispositivos [7]. Nesse estudo, os autores adotam a mesma estratégia de utilizar um único componente explícito como “Fonte da Verdade” para configurar e armazenar o estado dos dispositivos. No entanto, eles propõem uma abordagem que combina o provisionamento de serviços via *Zero Touch Protocol* (ZTP) com um estudo focado no provisionamento de VPNs nas camadas L2/L3 em redes de datacenters. O trabalho em [8] explora soluções de automação tática para o provisionamento de dispositivos na camada de acesso, com resultados práticos aplicados à rede do campus da Universidade Duke. Outros estudos abordam a automação de redes com Python [9, 10]. O primeiro analisa o desempenho da automação com dispositivos de rede, enquanto o segundo fornece uma visão geral sobre a programabilidade e automação de redes usando Python.

No trabalho de [11] são explorados os benefícios da utilização de inteligência artificial na obtenção de playbooks que podem ser usados na camada de tradutores na arquitetura proposta por este trabalho. Os resultados indicam mais de 99% de precisão na elaboração das configurações e 100% de confiabilidade nas traduções. O

estudos também aponta vantagens da tradução de parâmetros de configuração com o uso de LLMs, em relação aos scripts previamente desenvolvidos e a configuração manual tradicional.

A importância da SoT é destacada fortemente no trabalho de [12], em que é demonstrado outras ferramentas essenciais para o gerenciamento de infraestrutura de TI podem se beneficiar fortemente da adoção de uma SoT. Em [13] são explicitados diversos desafios a serem enfrentados no campo da automação de redes, incluindo a necessidade de garantir a coerência entre o estado desejado e o estado operacional da rede, e em caso de desvios atuar autonomamente para sua correção.

Nosso trabalho propõe uma solução integrada e voltada para ambientes de rede mais genéricos, apresentando um estudo de caso em redes de campus. Em conformidade com os demais estudos, nossa análise reforça a capacidade da automação de serviços e dispositivos de reduzir significativamente o tempo de operação nas organizações. Contudo, um diferencial importante da nossa solução é a arquitetura em camadas bem definidas, cada uma com funções específicas, e orientadas a refletir o estado desejado no estado operacional da infraestrutura. Diferentemente dos trabalhos relacionados, a adição e o gerenciamento de novos dispositivos e serviços são processos intrinsecamente nativos à nossa solução. Além de facilitar a manutenção do sistema, essa arquitetura modular oferece compatibilidade e flexibilidade para integração com diversos sistemas e protocolos, promovendo a escalabilidade e evolução contínua para suportar um número crescente de atividades de gerenciamento.

3 Arquitetura Proposta

A automação de redes integrada à fonte de verdade (SoT) tem como principais objetivos assegurar a consistência entre o estado desejado e o estado operacional de dispositivos e serviços, reduzir o tempo de trabalho das equipes de TI e minimizar erros humanos em configurações manuais. Para integrar a SoT ao gerenciamento automatizado de redes heterogêneas, propomos uma arquitetura de cinco camadas, conforme ilustrado na Figura 1, em que cada camada possui responsabilidades específicas na documentação e implementação automatizada das configurações. Essa arquitetura garante que qualquer modificação na SoT seja traduzida em ajustes no estado operacional da rede.

A Figura 1 apresenta a arquitetura proposta, com as soluções conceituais integradas à esquerda, exemplos de aplicações práticas na coluna central e, à direita,

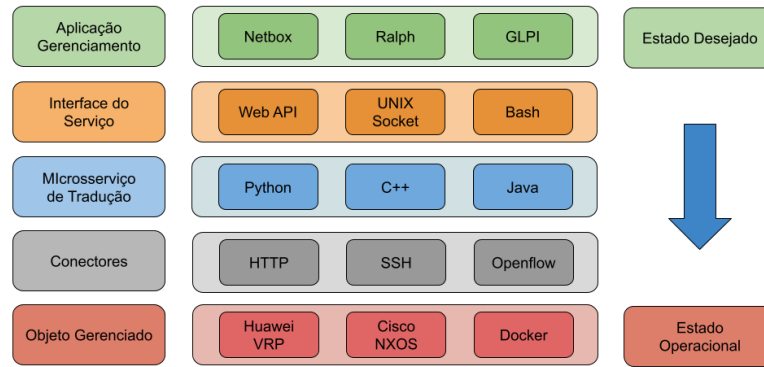


Figura 1. Arquitetura em camadas mostrando integração entre o estado desejado e estado operacional da rede

o vínculo entre o estado desejado, representado pela SoT, e o estado operacional dos objetos gerenciados, estabelecido pelas camadas de transição.

Essa abordagem proporciona um gerenciamento mais eficiente e preciso, facilitando o controle de redes complexas e heterogêneas, mantendo a documentação atualizada e garantindo que alterações no nível conceitual sejam refletidas automaticamente no ambiente operacional, sem necessidade de intervenção manual.

A *aplicação de gerenciamento* é responsável por fornecer interfaces de alto nível que permitem ao usuário final expressar, modelar e gerenciar as configurações de serviços e dispositivos de rede por meio da fonte de verdade, tornando-se independente dos dispositivos gerenciados. Através de interfaces web, o usuário pode configurar os parâmetros desejados (nomes e modo de operação de interfaces, vlans autorizadas, etc) para cada entidade, seja um dispositivo ou serviço, e essas informações são salvas e gerenciadas pela aplicação, que armazena essas informações em uma base local, geralmente um SGBD, notificando o microserviço de tradução sobre qualquer alteração nestas configurações e que passa a funcionar como fonte de verdade da rede. Essa camada pode ser implementada através de soluções existentes, como Netbox¹, Ralph² e GLPI³.

A SoT mantém o repositório da modelagem da infraestrutura de TI e armazena as informações inseridas pelos usuários. Para garantir consistência entre o estado desejado e o estado operacional, é necessário um mecanismo de notificação. Este mecanismo pode ser implementado através de *webhooks*, que utilizam um *endpoint* de Web API para enviar as informações das alterações de configuração realizadas pelo usuário para a implementação dessas novas configurações nas

entidades relacionadas. Quando alterações são feitas pelo usuário na SoT, estas precisam ser transmitidas ao micro serviço responsável pela tradução das configurações, assegurando que as mudanças no estado desejado sejam refletidas nos dispositivos e serviços. A ativação desses gatilhos, sempre que ocorrem alterações, é fundamental para garantir que o estado desejado registrado na SoT seja fielmente implementado no estado operacional, evitando discrepâncias e assegurando a integridade da configuração da rede. A Figura 2 mostra o usuário acessando uma interface Web da SoT, que armazena as informações em uma base de dados e notifica a interface de microserviço de tradução sobre o tipo de alteração realizado e o novo estado de configuração a ser implementado no dispositivo ou serviço em operação.

A função da *interface do serviço* é receber as notificações vindas da SoT, juntamente com as informações que foram alteradas e o estado atual do objeto na SoT. Estas informações são então serializadas e enviadas ao *microserviço de tradução*. Padrões web, como REST API, são possibilidades de implementação multiplataforma baseada em HTTP, sendo os *sockets unix* também uma opção.

O *microserviço de tradução* tem a responsabilidade de receber as informações repassadas pela camada de *interface do serviço* e traduzi-las em comandos para que o atual estado operacional do objeto gerenciado convirja para o novo estado desejado expresso na SoT. Esta camada pode ser implementada através de diferentes linguagens de programação e pode se apoiar fortemente em LLMs para executar sua função. A utilização de *templates engines*, como o Jinja, são uma alternativa para a tradução das configurações recebidas pela SoT e enviadas ao microserviço de tradução. Outra opção é traduzir os comandos de forma programática, para construir a sequência de comandos enviá-las aos *conectores*.

¹ <https://netboxlabs.com/oss/netbox/>

² <https://ralph-ng.readthedocs.io/en/stable/>

³ <https://glpi-project.org/pt-br/>

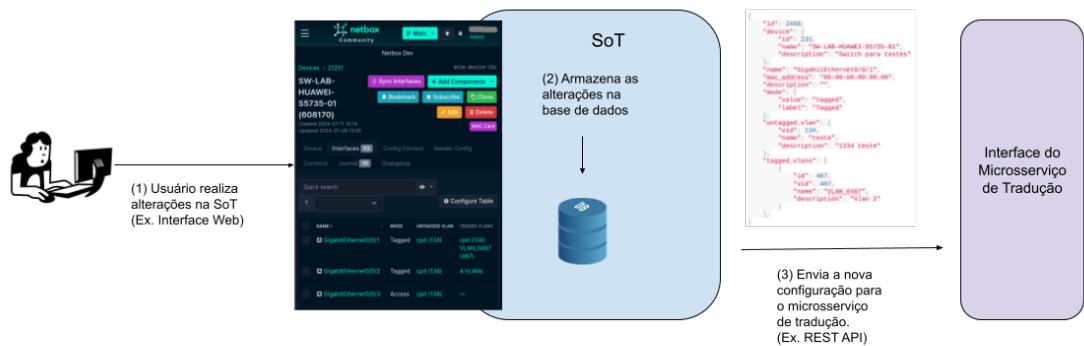


Figura 2. SoT com interfaces para usuários e notificação para o microserviço de tradução

Os *conectores*, por sua vez, possuem a função de conectar e executar os comandos repassados pelo *microserviço de tradução* diretamente nos dispositivos e serviços de rede. Os *conectores* podem utilizar diferentes protocolos, como SSH, Openflow e HTTP, dependendo da arquitetura do objeto gerenciado. Os *conectores* utilizam os dados do dispositivo para realizar a conexão e enviar os comandos para configurar o novo estado desejado do objeto.

Na base da arquitetura estão os *objetos gerenciados*, representados pelos dispositivos e serviços de rede, sejam físicos ou virtuais, e suas diversas plataformas. A inclusão de cada novo dispositivo ou serviço deve ter seu respectivo microserviço de tradução para que possa ser gerenciado pela solução. Microserviços de tradução completos permitem o estabelecimento de um gerenciamento sem a necessidade de intervenção humana direta no equipamento, representando uma redução significativa nas probabilidades de erros humanos que podem ocorrer ao longo do ciclo de vida de um dispositivo ou serviço de rede.

4 Implementação do Protótipo

A arquitetura proposta foi validada experimentalmente através da implementação de um protótipo, consistindo na integração das 4 camadas superiores utilizando ferramentas de código-aberto e na camada de mais baixo nível os dispositivos virtuais Cisco Nexus, representando os objetos gerenciados. O protótipo buscou atender cada uma das camadas da arquitetura com soluções abertas e gratuitas, implementando como *Aplicação de Gerenciamento* o software Netbox que integra uma SoT que armazena e disponibiliza as informações da rede usando um banco de dados PostgreSQL⁴. Para notificar o microserviço de tradução sempre que houvesse alte-

rações na SoT, usou-se o recurso de “Regras de eventos” configurado para enviar requisições HTTP à *interface de serviço*.

A *interface do serviço* foi implementada usando a ferramenta Django REST Framework (DRF)⁵ e recebe as notificações vindas da SoT, serializa as informações e encaminha para o *microserviço de tradução*. Assim que as informações são traduzidas para comandos de configuração, o módulo utiliza o Netmiko⁶ para se conectar ao dispositivo e executar a configuração. O fluxo entre as alterações realizadas pelo usuário e a entrega das informações que deverão ser traduzidas em comandos de configuração estão ilustradas na Figura 2.

5 Resultados

Para validar o protótipo, foram comparados os tempos de execução, manual e automática, para efetuar a ativação de novas redes (VLANs) em uma rede com 1 switch core e 3 clientes conectados à ele. Também está conectado ao switch core um servidor, chamado net2d, que implementa a arquitetura proposta neste trabalho. Todos os dispositivos estão conectados à uma rede de gerência, *vlan 500*, mostrada na Figura 3 e documentados na SoT com seus nomes, interfaces e endereçamentos IP.

Foi solicitado para que um operador experiente realizasse a criação de 5 novas VLANs e distribuisse entre os clientes conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Configuração desejada após o experimento

Cliente	Vlanif500	Vlanif701	Vlanif723	Vlanif856	Vlanif1087
client-isp-1	192.168.0.101	-	192.168.72.101	192.168.85.101	192.168.108.101
client-isp-2	192.168.0.102	192.168.70.101	192.168.72.102	-	-
client-isp-3	192.168.0.103	-	-	192.168.85.102	192.168.108.102
net2d	192.168.0.250	192.168.70.250	192.168.72.250	192.168.85.250	192.168.108.250

⁴ <https://www.postgresql.org/>

⁵ <https://www.django-rest-framework.org/>

⁶ <https://github.com/ktybers/netmiko>

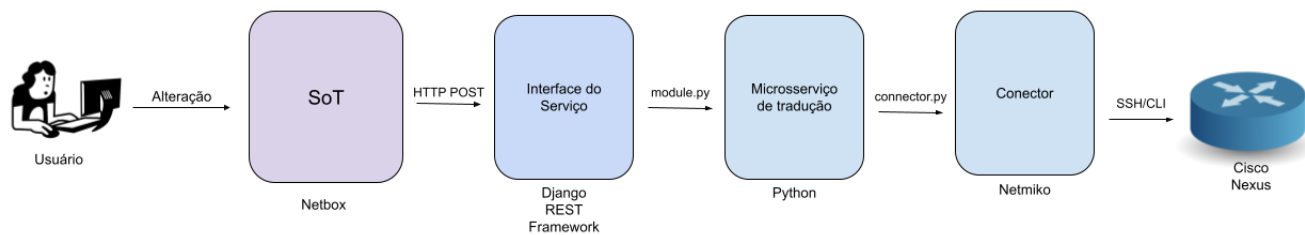


Figura 3. Fluxo completo entre as alterações realizadas pelo usuário e a entrega das informações que deverão ser traduzidas pelo micro serviço de tradução

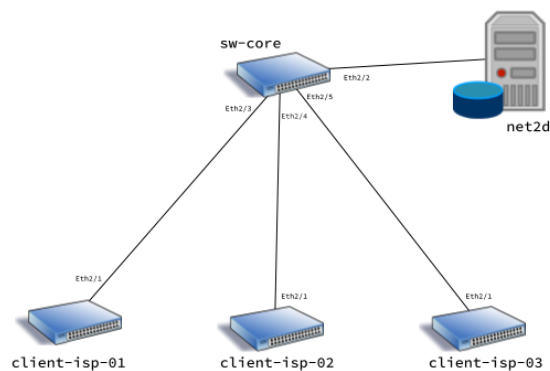


Figura 4. Topologia do experimento

Os passos necessários para efetuar a tarefa de ativação manual de 1 VLAN no dispositivo consiste em (1) autenticar no dispositivo, (2) criar a VLAN, (3) criar e configurar a interface de VLAN, (4) adicionar a VLAN no tronco da interface física, (5) salvar a configuração e desconectar do dispositivo e (6) documentar a nova situação da rede. Os tempos médios de configuração manual para cada etapa estão mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Tempo médio de execução manual de cada tarefa

Tarefa	#1	#2	#3	#4	#5	#6	Total (s)
Tempo(s)	4	14	38	28	9	72	165

Sendo que o objetivo final do dispositivo consiste na execução destes procedimentos 7 vezes ao total, consolida-se um tempo total de execução de 1.155 segundos em média, aproximadamente 19 minutos e 15 segundos. Já na configuração automatizada com o Net2D o processo de documentação da mudança na SoT levou cerca de 72 segundos e a implementação pelo *microserviço de tradução* levou 12 segundos, totalizando 84 segundos para documentar e implementar as mudanças em cada VLAN e equipamento, ocupando ao total 588 segundos, ou 9 minutos e 50 segundos, para configurar e documentar todas as mudanças proposta pelo experimento. Além de reduzir o tempo necessário para

configurar todos os dispositivos, o uso da SoT, micro serviços de tradução e conectores para configuração automática dos dispositivos contribui significativamente para reduzir inconsistências e erros operacionais de configuração e documentação manual. A SoT da solução está sempre devidamente atualizada e representa o estado atual da rede.

6 Conclusão

Neste trabalho, apresentamos uma arquitetura em camadas com serviços bem definidos, utilizando uma única fonte de verdade (*Source of Truth* - SoT), o que permite ampla integração e gerenciamento de dispositivos e serviços em redes heterogêneas. A prova de conceito foi implementada por meio de um protótipo que automatiza a configuração de dispositivos de rede, sendo avaliado experimentalmente quanto à sua capacidade de reduzir o tempo de operação no gerenciamento desses dispositivos.

A integração da SoT com ferramentas de automação demonstrou uma redução significativa no tempo de operação, chegando a uma economia de mais de 50% para tarefas simples, como a ativação e documentação de redes em dispositivos. Um dos principais benefícios dessa integração é a garantia de documentação automática, que facilita o gerenciamento contínuo.

Como trabalhos futuros, destacamos: (a) estudos que investiguem as chances de reduzir erros humanos ao comparar configurações manuais e automáticas; (b) pesquisas sobre o ciclo de vida de dispositivos e serviços de redes de TI, contribuindo para a modelagem de SoTs mais completas, capazes de atender a todas as demandas de automação; (c) a expansão da solução para suportar a agregação de novos dispositivos e serviços, visando um gerenciamento integrado e automatizado por meio de uma SoT.

Declarações complementares

Financiamento

Esta pesquisa foi parcialmente realizada com apoio da CAPES – Código de Financiamento 001.

Referências

- 1 Cisco. 2024 *Global Networking Trends*. 2024. Accessed: 2024-10-21. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/solutions/enterprise-networks/2024-global-networking-trends.pdf>.
- 2 Mulyana, E.; Fakihi, G. Network Automation with a Single Source of Truth in a Heterogeneous Environment. *International Journal on Electrical Engineering & Informatics*, v. 14, n. 1, 2022.
- 3 Trainor, J. Single Source of the Truth in Media Data Centers. *SMPTE Motion Imaging Journal*, SMPTE, v. 131, n. 5, p. 23–29, 2022.
- 4 Sun, X. *et al.* An Authoritative Source of Truth System for UCAV Conceptual Design. *IEEE Access*, IEEE, v. 9, p. 145317–145333, 2021.
- 5 Hijazi, A. A. *et al.* A data model for integrating BIM and blockchain to enable a single source of truth for the construction supply chain data delivery. *Engineering, Construction and Architectural Management*, Emerald Publishing Limited, v. 30, n. 10, p. 4645–4664, 2023.
- 6 Weber, T.; Weber, S. Towards a Single Source of Truth with a Freely Shareable Deltachain. *In: IEEE. 2024 IEEE 21st International Conference on Software Architecture Companion (ICSA-C)*. 2024. P. 92–94.
- 7 Mulyana, E.; Fakihi, G. Network Automation with a Single Source of Truth in a Heterogeneous Environment. *International Journal of Electrical Engineering and Informatics*, v. 14, n. 1, p. 6, 2022. DOI: [10.15676/ijeei.2022.14.1.6](https://doi.org/10.15676/ijeei.2022.14.1.6).
- 8 Brockelsby, W.; Dilda, S. Tactical Network Automation with NetZTP and One Shot. *In: 2019 IEEE 40th Sarnoff Symposium*. 2019. P. 1–3. DOI: [10.1109/Sarnoff47838.2019.9067817](https://doi.org/10.1109/Sarnoff47838.2019.9067817).
- 9 Mazin, A. M. *et al.* Performance Analysis on Network Automation Interaction with Network Devices Using Python. *In: 2021 IEEE 11th IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)*. 2021. P. 360–366. DOI: [10.1109/ISCAIE51753.2021.9431823](https://doi.org/10.1109/ISCAIE51753.2021.9431823).
- 10 Demchenko, Y. *et al.* Enabling Automated Network Services Provisioning for Cloud Based Applications Using Zero Touch Provisioning. *In: 2015 IEEE/ACM 8th International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC)*. 2015. P. 458–464. DOI: [10.1109/UCC.2015.82](https://doi.org/10.1109/UCC.2015.82).
- 11 Okunaiya, O.; Austin, R.; Zhu, S. Y. ChatGPT-enabled Network Automation using API-based Prompts. *In: NOMS 2024-2024 IEEE Network Operations and Management Symposium*. 2024. P. 1–5. DOI: [10.1109/NOMS59830.2024.10574943](https://doi.org/10.1109/NOMS59830.2024.10574943).
- 12 Walther, D.; Jovicic, D. *SSoT Based Network Service Deployment*. 2023. Other thesis, OST Ostschweizer Fachhochschule. Bachelor Thesis. Disponível em: <https://eprints.ost.ch/id/eprint/1151/>.
- 13 Leivadreas, A.; Falkner, M. Autonomous Network Assurance in Intent Based Networking: Vision and Challenges. *In: 2023 32nd International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)*. 2023. P. 1–10. DOI: [10.1109/ICCCN58024.2023.10230112](https://doi.org/10.1109/ICCCN58024.2023.10230112).