

Plano de Controle da Arquitetura NovaGenesis para um Ponto de Interconexão de Tráfego Multi-Arquitetura

Thiago Bueno da Silva¹, José A. T. Gavazza², Fábio L. Verdi²,
José A. Suruagy³, Juliano Coelho⁴, Flávio Silva⁴, Antônio M. Alberti¹

¹ICT Lab – Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL)
Santa Rita do Sapucaí – MG – Brasil

²Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
Sorocaba – SP – Brasil

³Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Recife – PE – Brasil

⁴Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Uberlândia – MG – Brasil

thiagobueno@gea.inatel.br, gavazza@gmail.com, {julianoco, flavio}@ufu.br,
verdi@ufscar.br, suruagy@cin.ufpe.br, alberti@inatel.br

Abstract. *This article introduces the NovaGenesis architecture to the context of Software Defined Networks with P4. Through the Future Internet Exchange Point project, this architecture can dynamically configure a P4 router that connects two hosts NG. The obtained results prove the feasibility of the prototype once the inserted delays do not impact the NG application notably.*

Resumo. *Este artigo introduz a arquitetura NovaGenesis ao contexto de Software Defined Networks com P4. Por meio do projeto Future Internet Exchange Point, a arquitetura é capaz de configurar dinamicamente um roteador P4 que conecta dois hosts NG. Os resultados obtidos comprovam a viabilidade do protótipo, visto que os atrasos inseridos não impactam muito na aplicação NG.*

1. Introdução

Com a evolução tecnológica, novas propostas visam otimizar a eficiência da infraestrutura atual de redes de comunicação. Pode-se citar propostas que focam desde a programabilidade de redes pela *Software Defined Networks* (SDN), bem como propostas mais revolucionárias que almejam redesenhar a própria Internet — pesquisa em Internet do Futuro (IF). Seja qual for o esforço nesta área, a relevância da Internet no mundo atual e futuro é inegável [Qiu et al. 2018]. A sociedade depende desta infraestrutura não mais apenas para diminuir distâncias, mas também como uma matriz econômica capaz de fomentar o desenvolvimento de inúmeros setores, como o financeiro, agrícola e industrial [Silva et al. 2020, Cirillo et al. 2020].

Apesar de seus mais de 50 anos, a Internet sempre apresentou limitações importantes, tais como nomeação perene de entidades, identificação e autenticação de serviços

e suporte ao roteamento baseado em nomes de conteúdos. Propostas de melhoria evolucionárias não conseguem modificar essa realidade [Pan et al. 2011]. Por outro lado, a completa substituição deste ecossistema por uma outra arquitetura parece inviável por inúmeras questões. Assim, um caminho a se explorar se dá por meio de propostas de cooperação de múltiplas arquiteturas, onde cada arquitetura específica pode oferecer o seu melhor serviço em uma fatia (*slice*) da rede [Mei et al. 2020]. Propostas como as redes móveis de quinta geração (5G) e pós-5G fomentam tal visão.

Este artigo introduz a arquitetura NovaGenesis (NG) ao contexto do projeto *Future Internet eXchange Point* (FIXP). Ao conciliar um controlador NG e um dispositivo roteador baseado na linguagem *Programming Protocol-Independent Packet Processor* (P4), obtém-se a configuração dinâmica do Plano de Dados. Para tanto, este artigo está estruturado como se segue. A Seção 2 introduz a arquitetura NG. Já a Seção 3 demonstra conceitos básicos de SDN e da arquitetura P4, de modo que a Seção 4 aborde o projeto FIXP. Após isso, a Seção 5 contempla a proposta para conciliar a NG e o FIXP. Em seguida, a Seção 6 demonstra os testes e analisa os resultados obtidos. Por fim, a Seção 7 aponta as principais conclusões do artigo.

2. NovaGenesis

NovaGenesis é uma meta arquitetura que combina o estado da arte para conceber um ecossistema convergente de processamento, troca e armazenamento de dados [Alberti et al. 2018]. Desde 2008, este projeto integra paradigmas que buscam mantê-lo relevante em um ambiente tecnologicamente mutável. Alguns pilares derivam de conceitos de redes centradas em informação e serviços, ciclo de vida e gêmeos digitais. Além disso, garante a mobilidade, segurança e confiabilidade em um ambiente que tende a crescer exponencialmente, tanto em termos de dispositivos quanto de dados.

Um dos pilares da NG é o seu sistema de nomeação [Alberti et al. 2016]. Nesta arquitetura, um nome pode ser um identificador ou um localizador, onde as relações entre nomes de dispositivos, processos e domínios são representadas por ligações lógicas entre nomes. Logo, uma entidade possui uma conexão flexível com o seu domínio, a qual é atualizada ao mudar de escopo. Igualmente, o roteamento NG se dá em função dos identificadores de origem e destino, presentes na linha de roteamento NG [Alberti et al. 2016].

Por fim, toda aplicação NG possui uma estrutura que contempla serviços NG básicos, que são essenciais para a comunicação entre processos e/ou aplicações; e especializados, os quais variam conforme a necessidade da aplicação. Assim, micro serviços autossimilares constituem macro serviços NG customizáveis sob demanda. A Tabela 1 expõe brevemente os serviços básicos e especializados NG mais pertinentes a esse artigo.

3. *Software Defined Network e P4*

Lidando com a imutabilidade e rigidez dos dispositivos de redes, a tecnologia SDN provê alta configurabilidade e flexibilidade. Ao dividir a rede em Planos de Dados e Controle, separa-se o tráfego de dados sem comprometer a gerência da rede. Assim, dispositivos comutadores operam sob a orientação de controladores, os quais gerenciam as regras de encaminhamento, fluxo e qualidade de serviço. Ademais, a SDN propicia novos paradigmas de rede sem necessitar de anos de desenvolvimento de dispositivos “convencionais”.

Tabela 1. Serviços básicos e especializados da NovaGenesis.

Componente NovaGenesis	Funcionalidade
<i>Proxy/Gateway/Controller Service</i> (PGCS)	Serviço básico que encapsula mensagens NG em padrões de camada de enlace, tais como Ethernet, LoRa e Wi-Fi; atua como um <i>proxy</i> para representar outros serviços NG dentro de um mesmo sistema operacional; e realiza o <i>bootstrapping</i> de um domínio.
<i>Hash Table Service</i> (HTS)	Serviço básico que armazena ligações entre nomes (<i>name bindings</i>) e conteúdos associados, se existentes; e atua como um <i>cache</i> de rede.
<i>Generic Indirection Resolution Service</i> (GIRS)	Serviço básico que seleciona o HTS apropriado para armazenar <i>name bindings</i> e conteúdos associados.
<i>Publish/Subscribe Service</i> (PSS)	Serviço básico que promove a troca de informações entre serviços usando o modelo de comunicação pública/assina, no qual serviços publicam <i>name bindings</i> e conteúdos para outros serviços; resolução de nomes, fornecendo a entrega de conteúdos associados via HTS.
<i>Name Resolution and Networking Cache Service</i> (NRNCS)	Serviço básico que engloba o PSS, o HTS e o GIRS em um só programa.
<i>ContentApp</i>	Serviço especializado para distribuição de conteúdo. Um <i>host</i> pode ser configurado como Fonte de Conteúdo, o qual busca estabelecer um contrato para armazenar os seus dados, ou Repositório de Conteúdo que oferta a sua capacidade de armazenamento.

A arquitetura P4 é um exemplo de tecnologia SDN. Esta surgiu como uma evolução do OpenFlow ao propor maior independência de protocolos e dispositivos [Bosshart et al. 2014]. Ao ser agnóstica ao equipamento, deve-se modelar tanto o protocolo a ser processado, quanto o comportamento do dispositivo P4. No entanto, esta não fornece suporte a controladores, os quais são customizáveis conforme cada aplicação.

4. *Future Internet Exchange Point*

O projeto FIXP propõe o roteamento de múltiplos protocolos de comunicação em um mesmo ponto de troca de dados. Para tal fim, comutadores baseados em P4, ou *switches* (SWes) FIXPs, e programas específicos garantem a comunicação entre os Planos de Dados e Controle. Deste modo, a infraestrutura FIXP é capaz de interconectar e garantir a comunicação de diferentes provedores de serviço da Internet atual e de IF.

A infraestrutura FIXP conta com um Plano de Dados composto por SWes FIXPs que encaminham e processam dados das arquiteturas ETARch, TCP/IP e, agora, NovaGenesis [Gavazza et al. 2020]. Além deste, há uma Camada de Abstração (CA) que realiza a interconexão entre múltiplos SWes FIXPs e múltiplos controladores. Por fim, o Plano de Controle dispõe de controladores que gerenciam o Plano de Dados de maneira dinâmica. Em outras palavras, cada arquitetura utiliza um controlador específico que coordena a topologia física considerando o fluxo de dados de seu protocolo.

Para melhor explicar a arquitetura FIXP, a Figura 1 ilustra o modelo em camadas do projeto, dispondo os programas que atuam em cada estágio. Por sua vez, a Tabela 2 lista e explica sucintamente cada elemento ilustrado na figura em questão.

5. Proposta de Controlador NovaGenesis para o FIXP

Atualmente, o PGCS é o melhor serviço NovaGenesis para controlar o FIXP, visto que gerencia elementos programáveis e encapsula mensagens em outros protocolos. Entretanto, o objetivo deste trabalho é estabelecer pilares para um cenário mais complexo para interoperação de outras tecnologias SDN, como OpenFlow e KeyFlow. Esta visão está alinhada com o paradigma *bottom-up* e, também, com a autossimilaridade da NG.

Primeiramente, o controlador NG precisa obter informações pertinentes à topologia no Plano de Dados. Para fornecer essa visão, 4 *bytes* reservados foram adicionados ao

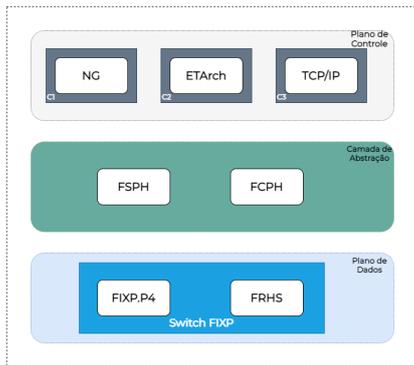


Figura 1. Modelo em Camadas do projeto FIXP.

Tabela 2. Arquitetura FIXP.

Componente FIXP	Funcionalidade
<i>FIXP</i>	Comutador gerido por controladores.
<i>FIXP.P4</i>	Modela os comutadores FIXPs.
<i>FIXP Rule Handler Service (FRHS)</i>	Traduz as primitivas de controle FIXP.
<i>FIXP Switch Packet Handler (FSPH)</i>	Interconecta FIXPs a controladores.
<i>FIXP Controller Packet Handler (FCPH)</i>	Interconecta controladores a FIXPs.
Plano de Controle	Fornecer inteligência à infraestrutura com controladores para cada arquitetura.
Camada de Abstração	Vincula o Plano de Controle ao de Dados.
Plano de Dados	Manipula e roteia dados.

cabeçalho de todo pacote NG. Nestes, qualquer FIXP preenche 2 campos para especificar a porta de entrada (PE) que recebeu o pacote NG e o identificador único do comutador, ou *Switch Identifier* (SWID), ao encaminhar um pacote ao controlador.

No Plano de Controle, o controlador NG mapeia a topologia física ao remontar uma mensagem NG. Por meio de uma tabela interna, o PGCS extrai e registra as informações necessárias à configuração dos FIXPs, como o *Host Identifier* (HID) da origem e, também, o SWID e a PE do FIXP que recebeu um pacote desconhecido. Assim, o HID de destino é comparado com os valores já registrados de HID para determinar se o controlador NG sabe como alcançar o destino solicitado. Caso haja tal conhecimento, uma primitiva de inserção de regra no formato JSON é gerada para configurar o FIXP em questão (esta padronização é uma novidade com a aplicação NG). A Figura 2 ilustra um fluxograma simplificado, considerando apenas ações dos FIXPs e do Controlador NG, omitindo a CA por esta apenas interconectar os Planos de Dados e Controle.

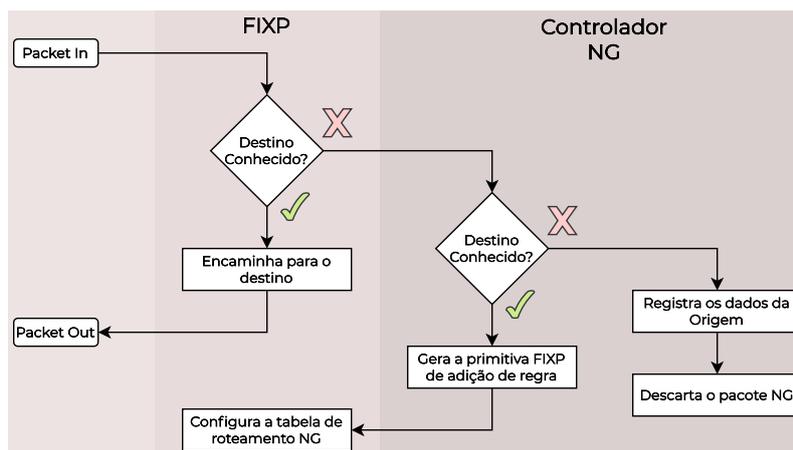


Figura 2. Diagrama de Sequência da operação do FIXP e NovaGenesis.

6. Análise de Funcionamento

Para validar a proposta, utiliza-se a aplicação NG de distribuição de conteúdos nomeados. Neste cenário NG, há um repositório de dados que oferece uma capacidade de armazenamento, contando com um PGCS e um *ContentApp* locais. Além disto, uma fonte de

dados necessita de um local para armazenar seus dados, dispondo do PGCS, NRNCS e *ContentApp*. Por meio do VirtualBox, estes dois *hosts* são conectados por redes virtuais e analisa-se uma topologia com conexão direta entre fonte e repositório; e uma no qual estes dois *hosts* são conectados pelo FIXP. Logo, a maior topologia utiliza 5 máquinas virtuais (MV) isoladas, onde 2 MVs representam o repositório e a fonte de dados NG e as outras 3 constituem a infraestrutura FIXP, sendo uma para o roteador FIXP, outra para a CA e a última para o Controlador NG com apenas um PGCS. Todas as MVs utilizam o Ubuntu Linux 16.04, com 20 GB de HD, 32 GB de RAM e 2 núcleos de 2.2 GHz do processador Intel Xeon Silver 4114. Essa topologia é apresentada na Figura 3.

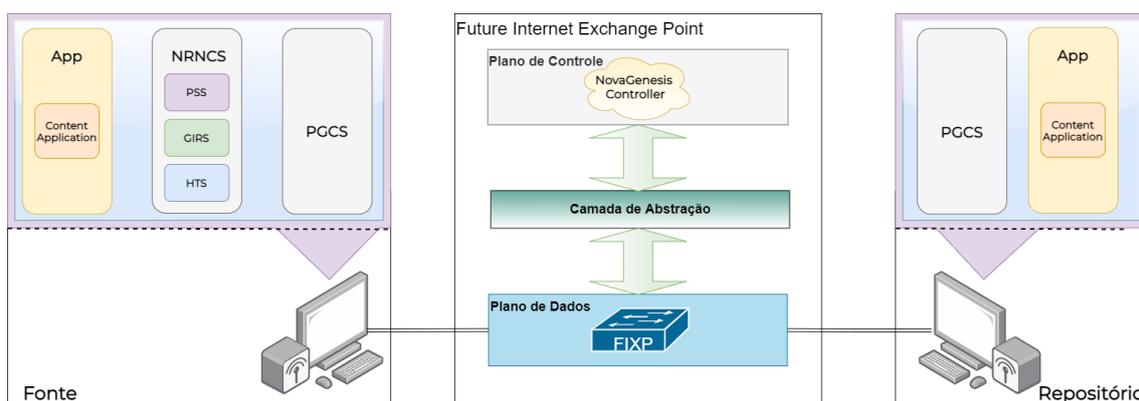


Figura 3. Cenário de Testes FIXP e NG.

Para ambos cenários, 500 fotos de 25, 50 e 100 KB são transferidas. Inicialmente, o tempo de armazenamento (TA), i.e. o intervalo de tempo entre a solicitação de um conteúdo até o instante em que este é totalmente armazenado, é contrastado com e sem FIXP. Junto a isso, investiga-se também o tempo que a rede com FIXP gasta para ser configurada (TC), i.e. o tempo que o FIXP encaminha o primeiro pacote desconhecido ao controlador até o instante em que toda a sua tabela de roteamento está configurada. Por fim, o atraso de processamento inserido pelo FIXP, chamado de *overhead*, é analisado, sendo empiricamente calculado pela diferença dos valores de TA com e sem FIXP.

A Tabela 3 expõe os resultados de cada cenário. É importante salientar que os dados coletados advêm de uma média aritmética simples de 3 execuções, com intervalo de confiança de 95%. Por meio destes resultados, observa-se que o FIXP impacta minimamente nas aplicações. Por exemplo, o tempo de *overhead* médio foi de cerca de 69,15ms. Mesmo que o TC médio seja de 16,39s, este tempo não impacta nas operações NG, visto que um serviço só inicializa ao efetivar um contrato entre os parceiros envolvidos.

Tabela 3. Resultados obtidos.

Cenário	TA sem FIXP	TA com FIXP	TC com FIXP	Overhead
500 fotos de 25KB	880,9ms ± 127,69ms	918,76ms ± 129,03ms	15,259s	37,87ms
500 fotos de 50KB	1,032s ± 133,87ms	1,135s ± 140,6ms	18,574s	102,82ms
500 fotos de 100KB	1,314s ± 158,57ms	1,381s ± 157,47ms	15,33s	66,76ms

7. Conclusão

Este artigo introduz a arquitetura NovaGenesis ao projeto FIXP. Esse é o primeiro trabalho que demonstra métricas de desempenho da NG com esta infraestrutura. Os resultados

apresentados comprovam a proposta e validam o seu desempenho, uma vez que os atrasos inseridos não impactam significativamente no desempenho das aplicações.

Este trabalho estabelece pilares para um ecossistema NG de interoperação SDN, onde a NG pode ser uma arquitetura que gerencie *slices* e elementos programáveis de rede. Ao explorar o projeto FIXP, a NG configura nativamente elementos P4 programáveis na rede. Trabalhos futuros explorarão mais essa cooperação, contemplando topologias mais complexas e propondo metodologias mais precisas de validação.

8. Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela RNP, com recursos do MCTI, processo No 01245.010604/2020-14, sob o projeto Sistemas de Comunicações Móveis de 6ª Geração (6G) do Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR) do Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel, Brasil. Ademais, contou com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela chamada #2015/24518-4 destinados ao projeto FIXP. Os autores também agradecem CAPES, o CNPq e a FAPEMIG.

Referências

- Alberti, A., Casaroli, M., Righi, R., and Singh, D. (2018). Introducing novagenesis as a novel distributed system-based convergent information architecture. In *Nature-Inspired Networking Theory and Applications*, chapter 4, pages 88–144. CRC Press.
- Alberti, A., Casaroli, M., Singh, D., and Righi, R. (2016). Naming and name resolution in the future internet: Introducing the novagenesis approach. *Future Generation Computer Systems*, 67.
- Bosshart, P., Daly, D., Gibb, G., Izzard, M., McKeown, N., Rexford, J., and et al. (2014). P4: Programming Protocol-Independent Packet Processors. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 44(3):87–95.
- Cirillo, F., Gómez, D., Diez, L., Elicegui Maestro, I., Gilbert, T. B. J., and Akhavan, R. (2020). Smart city iot services creation through large-scale collaboration. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(6):5267–5275.
- Gavazza, J. A. T., Melo, J. C., da Silva, T. B., Alberti, A. M., Rosa, P. F., de Oliveira Silva, F., Verdi, F. L., and Suruagy, J. A. (2020). Future internet exchange point (fixp): Enabling future internet architectures interconnection. In Barolli, L., Amato, F., Moscato, F., Enokido, T., and Takizawa, M., editors, *Advanced Information Networking and Applications*, pages 703–714, Cham. Springer International Publishing.
- Mei, C., Liu, J., Li, J., Zhang, L., and Shao, M. (2020). 5g network slices embedding with sharable virtual network functions. *Journal of Comm. and Nets*, 22(5):415–427.
- Pan, J., Paul, S., and Jain, R. (2011). A survey of the research on future internet architectures. *IEEE Communications Magazine*, 49(7):26–36.
- Qiu, T., Chen, N., Li, K., Atiquzzaman, M., and Zhao, W. (2018). How Can Heterogeneous Internet of Things Build Our Future: A Survey. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 20(3):2011–2027.
- Silva, T. B. d., Morais, E. S. d., Almeida, L. F. F. d., Rosa Righi, R. d., and Alberti, A. M. (2020). *Blockchain and Industry 4.0: Overview, Convergence, and Analysis*, pages 27–58. Springer Singapore, Singapore.