NetMetric: Uma Plataforma para Medição Ativa de Desempenho em Redes IP de Larga Escala

William Lautenschläger Roberto Costa Filho Nicolas Kagami

Saymon Della Flora Karina de Moura Valter Roesler

Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970
Porto Alegre, Brasil
{wrlautenschlager, roberto.costa, nskagami, ssdf, kvmoura, roesler}@inf.ufrgs.br

ABSTRACT

Network management is already an extensively investigated topic in academia, as well as implemented in countless commercial and Open Source solutions. However, the network management scene is rapidly becoming more complex, not only because of the growth of telecommunication networks, but also from the advent of new technologies such as Software Defined Networks (SDN) and Network Function Virtualization (NFV)[6, 3]. In this context, service providers are faced with a challenge in the form of implementing large scale strategies for obtaining accurate measurements about the quality of the provided services. This paper describes the NetMetric tool, a solution which employs active measurement techniques to determine fundamental indicators of the IP network performance. This document presents the tool in its general architecture, its high scalability aspects, as well as a brief case study to depict operation.

Keywords

Active Network Monitoring, Quality of Service

1. INTRODUÇÃO

O rápido crescimento das conexões de banda larga, principalmente sobre redes móveis, caracteriza um cenário desafiador para implementação do gerenciamento eficiente de infraestrutura para provedores. Para se ter uma noção desse crescimento, em 2015 a taxa de penetração da banda larga móvel chegou a 87% da população para países desenvolvidos [4]. Para atender essa grande demanda, mantendo o custo operacional controlado, os provedores estão investindo em tecnologias emergentes tais como Redes Definidas por Software (SDN) e Virtualização de Funções de Rede (NFV). No entanto, o uso de novas tecnologias em um cenário de missão crítica e de alta demanda tende a tornar a previsibilidade do desempenho da rede ainda menor. Nesse sentido, as soluções para aferição da qualidade da rede desempenham um papel fundamental para que os provedores de serviço consigam aferir e gerenciar os serviços prestados.

In: Workshop de Ferramentas e Aplicações (WFA), 15., 2016, Teresina. Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2016. v. 2.

ISBN: 978-85-7669-332-1

©SBC – Sociedade Brasileira de Computação

Embora ao longo dos últimos anos o tema de gerenciamento tenha recebido bastante atenção dos pesquisadores e da indústria, existem diversas questões importantes em aberto [8]. No sentido de padronizar a forma como as redes IP são aferidas, o *Internet Engineering Task Force* (IETF), por meio de um grupo de trabalho chamado *IP Performance Metrics* (IPPM), trata especificamente de normas e recomendações para viabilizar a medição justa de redes IP [5].

A ferramenta NetMetric[1] é um sistema que lança mão de técnicas de medição ativa, de forma aderente aos padrões emitidos pelo IPPM, para realizar a medição de desempenho em uma rede IP de larga escala. O NetMetric é resultante de um projeto de P&D, executado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e que está no seu sétimo ano de desenvolvimento contínuo. A capacidade da ferramenta de operar em ambientes de larga escala foi evidenciada por meio da sua utilização para medição de qualidade na rede de produção de uma das maiores operadoras de telefonia móvel do Brasil. No entanto, por questões de confidencialidade, não é possível apresentar a caracterização detalhada da rede. Cabe destacar que a licença da ferramenta ainda não está definida. Atualmente esse tema está em negociação entre a UFRGS e a empresa financiadora do projeto, para disponibilização de forma gratuita.

2. ARQUITETURA

A arquitetura do NetMetric, de acordo com a Figura 1, é composta por três grandes módulos de *software* com funções distintas e complementares entre si: (i) o agente, ativamente responsável pelas medições, (ii) o refletor, que auxilia a obtenção de indicadores primários de rede com recursos especializados, e (iii) o *Manager of Managers* (MoM), a interface centralizada de gerenciamento do sistema. Nesta seção, cada um desses elementos será detalhado.

2.1 Agente

O agente é o módulo do NetMetric executado em terminais fisicamente conectados à rede de interesse, designados como sondas. Em função do seu posicionamento, o agente é elemento responsável por injetar o tráfego de medição ativa na rede em que está inserido. A partir da observação das respostas enviadas pelas pontas de destino, deriva métricas objetivas relacionadas ao tipo de tráfego gerado. Um exemplo é o teste que visa a simular a requisição de uma página

[1]Um vídeo de demonstração pode ser visto em https://www.youtube.com/watch?v=RZDpHVQLDQQ

web por um usuário regular de Internet - o agente efetivamente faz uma requisição a uma *Uniform Resource Locator* (URL) alvo e baixa todo conteúdo necessário para que se visualize a página provida nesse endereço, computando volumes e atrasos demandados no processo.

Além da avaliação do conteúdo de *sites*, o agente é ainda capaz de extrair métricas de transferência de arquivos, com os protocolos *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) e *File Transfer Protocol* (FTP), de coletar métricas relativas ao serviço *Domain Name Service* (DNS), de extrair indicadores de apoio ao diagnóstico, como rota ou potência do sinal de celular, ou mesmo de observar como um serviço de *streaming* de vídeo se comporta nas condições de rede disponíveis. O agente NetMetric é atualmente compatível com os sistemas operacionais Linux e Android, plataforma na qual é capaz ainda de realizar testes para os serviços de *Short Message Service* (SMS) e *Multimedia Message Service* (MMS).

2.2 Refletor

O segundo grande módulo do NetMetric é chamado refletor, responsável por permitir a execução de testes ponto a ponto com controle dos dois terminais. Nesse sentido, o refletor possui recursos dedicados, como o isolamento das medições das várias sondas ao escalonar o envio de datagramas de cada tráfego nos intervalos dos demais. Esta característica também está presente na entidade gerente da arquitetura *Unified Active Measurement Architecture* (UAMA) [2], proposta para a medição de indicadores primários de rede de maneira escalável. Muitos outros recursos do gerente UAMA permanecem ativos na entidade refletora do NetMetric, como a modelagem do tráfego de medição em rajadas configuráveis e a possibilidade de se adicionar *plugins* para extrair novas métricas sem a necessidade de alterar o núcleo da aplicação. Tais *plugins* permitem que, a partir de um mesmo tráfego, sejam derivadas medidas compatíveis com recomendações da IPPM, tais como variação de atraso e perda de pacotes [5], ou mesmo com trabalhos do estado da arte em medições ativas, como a técnica de medição de atraso unidirecional proposta por Stangherlin [7].

O módulo refletor é implementado para o sistema operacional Linux, e normalmente é posicionado estrategicamente em servidores de alta capacidade dentro da rede da operadora que utiliza o NetMetric. Tal fato permite a extração de um panorama menos vulnerável a problemas alheios à rede da própria operadora.

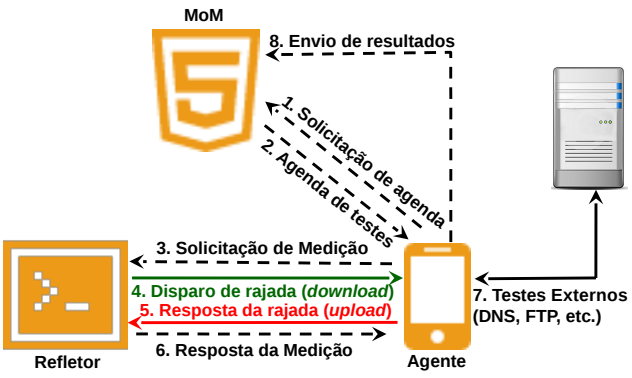

Figura 1: Arquitetura do NetMetric, com seus três grandes módulos e o fluxo de comunicação entre os mesmos

2.3 MoM

Agente e refletor, no entanto, não possuem interfaces voltadas para a interação com usuários. O contato do operador com a ferramenta é feito pelo terceiro grande módulo do NetMetric, o MoM, um subsistema para plataforma *web* que oferece os recursos de gerenciamento de sondas e servidores refletores, configuração de testes e visualização de resultados, funcionalidades que serão detalhadas na Seção 3. Além de suas funções centrais, o MoM conta com recursos que facilitam a compreensão e a usabilidade da ferramenta como um todo, como painéis de *status* das sondas e possibilidade de agrupá-las conforme critérios definidos pelos usuários.

O MoM possui ainda a capacidade de interagir com sistemas de gerenciamento fornecidos por terceiros. Entre as informações disponibilizadas estão os últimos resultados obtidos por cada sonda, através de um ramo próprio de *Management Information Base* (MIB) acessíveis pelo protocolo *Simple Network Management Protocol* (SNMP), através do qual também são enviadas sinalizações em formatos de traps sobre eventos gerais do sistema (quedas de sondas, por exemplo). O MoM é capaz ainda de importar dados, como o faz para coordenadas geográficas de antenas celulares através de arquivos *Comma-Separated Values* (CSV) extraídos de bancos de dados da própria operadora usuária. O MoM é implementado utilizando o *framework* Ruby on Rails e uma base de dados PostgreSQL, a qual contém todas as configurações e resultados coletados pelo sistema.

2.4 Comunicação

A comunicação entre os módulos do NetMetric se dá através de troca de informações no formato *Extensible Markup Language* (XML), capaz de carregar pares chave-valor hierarquizados e de maneira aderente ao protocolo *Simple Object Access Protocol* (SOAP), utilizado entre agente e refletor. Os dados transitam criptografados entre todos os elementos, através de canais HTTP *Secure* (HTTPS) com autenticação mútua, feita através de cadeias de certificados confiáveis. Conforme a Figura 1, um fluxo típico de comunicação entre os elementos segue os passos listados abaixo:

1. Uma sonda contendo o agente NetMetric solicita sua agenda de testes, um roteiro contendo as configurações detalhadas das medições que deve executar.
2. O MoM fornece à sonda a agenda solicitada.
3. No caso de haver na agenda um teste envolvendo o refletor, a sonda envia ao mesmo uma solicitação pelo canal de controle, contendo as configurações de como o tráfego de medição (passos 4 e 5) deve ser modelado.
4. O refletor dispara em direção à sonda uma *rajada de medição*, ou seja, um tráfego aderente ao protocolo definido pelo modelo UAMA, usando *Transmission Control Protocol* (TCP) ou *User Datagram Protocol* (UDP) no nível de transporte. As informações gravadas pelas duas pontas nos pacotes deste tráfego descrevem o *link* de *download* do ponto de vista da sonda.
5. O agente responde com um tráfego simétrico, permitindo a extração de informações sobre seu *link* de *upload* e o transporte dos dados de *download* coletados.
6. O refletor, com as informações dos dois sentidos do *link*, utiliza os *plugins* UAMA para calcular o valor das métricas suportadas, enviando a resposta à sonda.
7. Se houver testes de serviços externos configurados na agenda, a sonda irá realizá-los.

8. Por fim, a sonda irá juntar os resultados vindos do refletor (passo 6) com aqueles coletados dos testes externos (passo 7) e enviá-los para o MoM, que irá armazená-los e torná-los disponíveis em seus relatórios

Uma característica importante de todo o processo é que, uma vez que o agente tenha obtido a agenda de testes junto ao MoM, todos os módulos são capazes de atuar de maneira independente entre si, ou seja, se eventualmente um deles ficar indisponível, os testes continuarão sendo realizados com os recursos restantes. Ainda que falte conectividade ao MoM, por exemplo, o agente continuará cumprindo a agenda previamente obtida, e reterá os resultados para quando houver a normalização do módulo problemático.

3. OPERAÇÃO

Conforme mencionado na subseção 2.3, o MoM é o módulo responsável pela interação do usuário com a ferramenta NetMetric. O sistema foi projetado com a prerrogativa de ser escalável, ou seja, sua dinâmica de operação prevê recursos que permitem o crescimento do número de sondas na planta de medição. Além disso, as rotinas internas dos elementos suportam tais recursos, a exemplo do que ocorre com o microgerencimento de testes no módulo agente. Esta seção tratará detalhadamente desses aspectos.

3.1 Agendamento de testes

A entrada primária do NetMetric é a configuração da agenda de testes - nessa etapa, o operador irá definir quais os testes serão realizados por uma sonda ou um grupo de sondas, a frequência com que deverão ocorrer, ou mesmo ajustes finos de temporização, que incluem a opção por quais faixas de horário e dias da semana as medições serão de fato realizadas. Os testes passíveis de execução para cada agenda são definidos pelo conjunto de perfis de que forem adicionados à mesma. Um perfil de teste é uma configuração atômica, que deve ser feita previamente à criação da agenda, com parâmetros adequados para cada tipo de métrica que o NetMetric é capaz de extrair. Um teste *web*, por exemplo, deve respeitar uma configuração de *timeout*, que limita o tempo máximo de cada operação, e naturalmente deve conter uma lista de *sites* a serem percorridos.

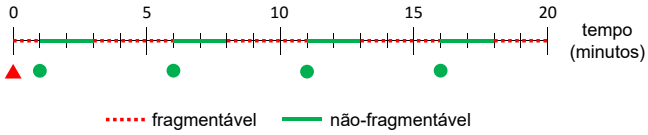

Figura 2: Fluxo de execução de testes com alternância entre agenda não-fragmentável e fragmentável

No entanto, a grande quantidade de testes que pode ser designada para um agente implica na necessidade de que tal módulo possua estratégias internas para administrá-los sem negligenciar nenhum teste programado e respeitando as temporizações configuradas - considerando ainda a premissa fundamental de que os testes devem ser serializados, para que o tráfego de um não influencie nos resultados dos demais. Para isso, foi arbitrada uma hierarquia de testes, dividindo-os entre *não-fragmentáveis* e *fragmentáveis*. Testes não-fragmentáveis são aqueles cujos resultados dependem de procedimentos mais longos (o *download* de um arquivo, por exemplo) e que, portanto, tem maior potencial de desperdício de tempo de teste se interrompidos. Testes fragmentáveis, pelo contrário, são aqueles cujo processo atômico de medição é mais rápido (como a resolução de um nome DNS). Sendo assim, a fragmentação permite que se interrompa um ciclo de testes sem maiores prejuízos em relação ao tempo demandado pelo elemento que se está cancelando, e que a agenda seja retomada posteriormente do ponto onde parou. Isso permite a distribuição das múltiplas medições configuradas nos intervalos dos testes não-fragmentáveis.

Na Figura 2, é representada uma sequência temporal, dividida em minutos, mostando a alternância entre duas agendas. Uma delas, em traço contínuo, contém somente testes não-fragmentáveis e possui o período de disparo configurado em cinco minutos - ou seja, após o início de um ciclo de medição, o próximo só deverá começar após esse intervalo ser transcorrido. A duração aproximada de cada ciclo é de dois minutos - algo equivalente a um teste de *download* em cinco URLs, cada qual com o *timeout* de 24 segundos. Já a agenda fragmentável, em padrão tracejado, possui disparos distanciados por uma hora, sendo a duração estimada do seu ciclo irrelevante neste primeiro momento. É possível notar que, no tempo zero, essa segunda agenda dispara (evento sinalizado por um triângulo). Um minuto depois, o círculo representa o disparo da agenda não-fragmentável, que irá ocupar os recursos de rede pelos próximos dois minutos. Ao final desse tempo, o controle será devolvido para a agenda fragmentável, que irá retomar seu ciclo do ponto onde o mesmo foi interrompido. O processo se repetirá no minuto seis, no minuto onze, e assim sucessivamente, de tal maneira que a frequência da agenda não-fragmentável será respeitada e que a fragmentável terá todos os intervalos disponíveis para evoluir em sua sequência de testes.

3.2 Relatórios

A saída preferencial do NetMetric é feita pelos relatórios gerados pelo MoM. Através deles, os resultados de todos os testes realizados pelas sondas podem ser visualizados em vários formatos, como tabelas, gráficos de linha, barras e setores. Nesta seção, alguns destes relatórios serão ilustrados através de um estudo de caso, onde sua visualização combinada permitiu o diagnóstico de uma situação de exceção na rede monitorada. As datas dos relatórios são protegidas pelo motivo citado na Seção 1.

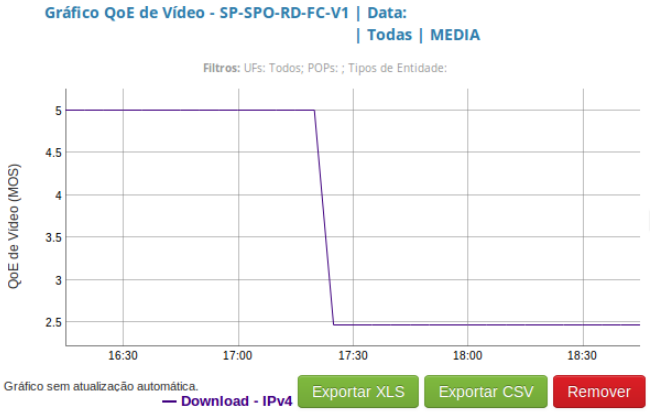

Figura 3: Alteração abrupta de comportamento percebida para as métrica de qualidade de experiência de vídeo

Em dado momento, como ilustrado pela Figura 3, o indicador de qualidade de experiência para *streams* de vídeo 1080p, representado por uma avaliação *Mean Opinion Score* (MOS), caiu de 5 para 2,47. Esses valores são estimados através da técnica proposta por Costa Filho [1], sendo derivados de árvores de decisão binária cujas entradas são métricas primárias de rede (vazão de dados, atraso e perda). Logo, a degradação de tais métricas deve ser investigada.

Um instrumento para esse fim é o gráfico de distribuição de número de saltos, ilustrado na Figura 4. Nesse gráfico, as linhas que representam os três indicadores primários estão associadas, no eixo horizontal, a um número de saltos da rota entre agente e refletor no momento de suas extrações. Por exemplo, consolidando-se a média de todas as medições de rota que tiveram quatorze saltos (conforme o eixo horizontal)[2], o atraso bidirecional resulta em 149 ms, de acordo com a curva de *Round Trip Time* (RTT). É possível observar que este valor é maior em relação a outras contagens de saltos, onde ficava na casa dos 20 ms. Há uma degradação perceptível também na métrica de vazão de dados (*throughput*), que passou de 14,5 Mbps para 2 Mbps. Essas duas alterações são capazes de impactar negativamente no indicador MOS, e podem estar associadas ao crescimento do tamanho da rota no período observado.

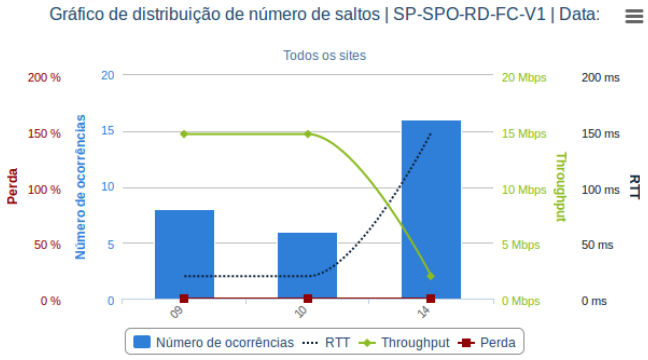

Figura 4: Gráfico de distribuição de contagem de saltos para a sonda com alteração dos indicadores

Analisando textualmente as rotas, através do relatório tabular de acompanhamento (omitido aqui por questões de limitação de espaço), foi possível observar que, no momento da mudança de comportamento, a rota se alterou para passar por endereços IP fora do Brasil, cruzando um *link* de alta latência. Com isso, a operadora usuária do NetMetric conseguiu diagnosticar que uma alteração prévia de configuração em um de seus *backbones* estava levando a rota a ser desviada por um caminho de contingência, causando as anomalias detectadas. Tal exemplo ilustra a capacidade da ferramenta NetMetric de perceber alterações no desempenho da camada de transporte, independente do local de origem da degradação. Essa visão possibilita uma aferição de desempenho de forma mais próxima ao que o usuário final de fato experimenta, podendo esse dado ser usado como gatilho para investigação em outras fontes de informação, tais como a utilização de *links* (obtida pela gerência SNMP tradicional), ou análise de *logs* e consumo de recursos em dispositivos de interconexão.

[2]É possível ainda saber que foram consideradas 16 medições para a extração da média, conforme a barra que se projeta no gráfico a partir do valor 14 no eixo horizontal.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou a ferramenta NetMetric, destacando as suas características para utilização em redes de larga escala. A operação continuada do NetMetric em um ambiente de operadora permitiu verificar que a plataforma viabiliza a aferição de qualidade em ambientes de grande porte, ao mesmo tempo em que mantém estável a complexidade de operação da solução. Como trabalho futuro pretende-se avaliar a viabilidade técnica de migrar a solução atual para um contexto de micro-serviços ou ainda virtualização leve baseada em *containers*. Com isso pretende-se tirar proveito da crescente infraestrutura de virtualização disponível no ambiente de operadoras, permitindo o monitoramento de um maior número de pontos, mas sem a necessidade de alocação de *hardware* dedicado.

Referências

[1] R. I. T. da Costa Filho, W. Lautenschläger, H. Lazzari, V. Roesler, and L. P. Gaspary. A rede tem a resposta: Um modelo escalável para predição integrada de qualidade de vídeo e qoe em redes ip. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores 2016*, Salvador, Maio 2016.

[2] G. L. dos Santos, V. T. Guimaraes, J. G. Silveira, A. T. Vieira, J. A. de Oliveira Neto, R. I. T. da Costa Filho, and R. Balbinot. Uama: a unified architecture for active measurements in ip networks; end-to-end objetive quality indicators. In *2007 10th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management*, pages 246–253, Maio 2007.

[3] H. Hawilo, A. Shami, M. Mirahmadi, and R. Asal. Nfv: state of the art, challenges, and implementation in next generation mobile networks (vepc). *IEEE Network*, 28(6):18–26, Novembro 2014.

[4] ITU. Measuring the information society. Technical report, 2015. Disponível on-line em: http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/mis2015.aspx. Acesso junho 2016.

[5] A. Morton. Ietf ip performance metrics - active and passive metrics and methods. Technical report, IETF, 2016. Disponível on-line em: https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-ippm-active-passive-06. Acesso junho 2016.

[6] S. Sezer, S. Scott-Hayward, P. K. Chouhan, B. Fraser, D. Lake, J. Finnegan, N. Viljoen, M. Miller, and N. Rao. Are we ready for sdn? implementation challenges for software-defined networks. *IEEE Communications Magazine*, 51(7):36–43, Julho 2013.

[7] K. Stangherlin, R. C. Filho, W. Lautenschläger, V. Guadagnin, L. Balbinot, R. Balbinot, and V. Roesler. One-way delay measurement in wired and wireless mobile full-mesh networks. In *2011 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pages 1044–1049, Março 2011.

[8] J. A. Wickboldt, W. P. D. Jesus, P. H. Isolani, C. B. Both, J. Rochol, and L. Z. Granville. Software-defined networking: management requirements and challenges. *IEEE Communications Magazine*, 53(1):278–285, Janeiro 2015.