

Avaliação do Impacto da Qualidade de Serviço sobre a Qualidade de Experiência para Aplicações Multimídia na Internet do Futuro

Charles H. Fernandes dos Santos¹, João B. Gonçalves da Silva¹, Felipe S. Dantas Silva¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)
Diretoria Acadêmica de Gestão e Tecnologia da Informação (DIATINF)
Laboratório de Pesquisa em Tecnologias Avançadas em Redes de Computadores (LaTARC)

{charles.hallan,goncalves.silva}@academico.ifrn.edu.br, felipe.dantas@ifrn.edu.br

Abstract. *This paper analyzes the impact of the guarantees of Quality of Service (QoS) to provide Quality of Experience (QoE) to user on the Internet. A set of experimental evaluations were conducted using the features provided by the Software Defined Network (SDN) paradigm, that confirms the need of adoption of advanced network control techniques as an alternative to the traditional approaches usually adopted by Internet Service Providers (ISPs).*

Resumo. *Este artigo analisa o impacto do fornecimento de garantias de Qualidade de Serviço (QoS) para a obtenção da Qualidade de Experiência (QoE) do usuário na Internet. Um conjunto de avaliações experimentais, conduzidas sob a perspectiva do paradigma de Redes Definidas por Software (SDN), comprovaram a necessidade da adoção de técnicas de controle avançado da rede como alternativa as tradicionais abordagens usualmente adotadas pelos Provedores de Serviço Internet (ISPs).*

1. Introdução

O futuro da Internet revela uma abordagem evolutiva, composta por redes convergentes de larga escala capazes de conectar uma enorme quantidade de dispositivos (*e.g. smartphones, tablets, computadores pessoais etc.*), com diferentes padrões de utilização e capacidades de processamento [Tutschku 2009]. Nos últimos anos, a área responsável pelo vertiginoso aumento do tráfego da Internet tem sido a de serviços multimídia (*e.g. streaming de vídeo*), cada vez mais presente no cotidiano dos usuários nos mais diversos tipos de aplicações e cenários (*e.g. telecomunicações, educação, telessaúde, comércio, entretenimento*) [West 2014].

Estimativas [Cisco 2015] apontam que o tráfego de dados multimídia na Internet representará, em 2019, 80% do tráfego global, em comparação aos 64% registrados em 2014, o que reflete na urgente necessidade de investimentos e desenvolvimento de novas tecnologias para fornecer garantias mínimas de Qualidade de Serviço (*Quality of Service – QoS*) que possam aprimorar a Qualidade de Experiência (*Quality of Experience – QoE*) [Li et al. 2014] dos usuários (*i.e.* a percepção de qualidade aferida por um usuário durante a recepção de um determinado conteúdo).

Apesar dos vários esforços da comunidade científica em prover novos mecanismos de controle e gerência da rede, várias delas se mostraram ineficientes, uma vez que

não foram capazes de lidar com premissas básicas de QoS, sendo incapazes, por exemplo, de considerar os aspectos de qualidade das aplicações (*i.e.* requisitos de QoS como largura de banda requerida, tolerância máxima a atraso/perda), necessário para garantir uma melhor QoE, bem como a otimização dos cada vez mais escassos recursos de rede [Xia et al. 2015].

Diante deste cenário, fica evidente a necessidade de mecanismos que forneçam uma série de novos serviços à infraestrutura, tornando-a flexível à incorporação de funcionalidades inovadoras, alcançando maior agilidade, escalabilidade e confiabilidade. Neste contexto, o paradigma de Redes Definidas por Software (*Software-Defined Networking* – SDN) [Boucadair e Jacquenet 2014] se destaca por possibilitar a programação do comportamento da rede através da separação do software de controle e do *hardware* de encaminhamento, movendo parte da lógica de decisão dos dispositivos da rede para um elemento externo (denominado controlador), possível de ser programado. A partir disso é possível gerir a rede de uma forma mais flexível, inserindo e removendo aplicações por meio de um padrão aberto, como o OpenFlow [McKeown et al. 2008], atualmente a maior instância do paradigma SDN. Deste modo, a adoção de técnicas avançadas de gerência do plano de controle provido pelo paradigma SDN é capaz de otimizar a utilização dos recursos da rede, garantindo níveis aceitáveis de QoE ao longo do tempo.

Com o objetivo de fornecer uma perspectiva do potencial de inovação no desenvolvimento e avaliação de novas tecnologias para a Internet do Futuro provido pelo paradigma SDN, este trabalho apresenta uma avaliação prática do impacto do provimento de QoS para a QoE do usuário. Para isso, será realizado um estudo experimental com o objetivo de demonstrar os benefícios obtidos a partir da adoção de técnicas avançadas de controle de rede, fazendo uso das funcionalidades providas por mecanismos desenvolvidos sob a tecnologia SDN.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte maneira: a seção 2 fornece uma visão geral sobre as principais estratégias de provimento de QoS desenvolvidas e adotadas na Internet nas últimas décadas, justificando a migração de boa parte delas para tecnologias SDN. Além disso, a Seção 2 apresenta os principais conceitos relacionados à QoE, destacando sua necessidade, principalmente em cenários de aplicações multimídia; a Seção 3 apresenta e discute um estudo de caso que considera uma aplicação de gerência de QoS implementada em uma infraestrutura SDN e; a seção 4 apresenta as considerações finais e delinea apontamentos de trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Os esforços da comunidade científica no desenvolvimento de métodos de QoS para redes ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), IP (*Internet Protocol*) e MPLS (*Multi Protocol Label Switching*) resultaram em diversos mecanismos e protocolos baseados nas principais estratégias da engenharia de tráfego (*Traffic Engineering* – TE) [Akyildiz et al. 2014], cujos conceitos podem ser utilizadas com as vantagens provenientes do paradigma SDN.

Projetadas no final da década de 1980, as redes ATM foram desenvolvidas para dar suporte a aplicações com alta vazão (*throughput*) envolvida (*e.g.* aplicações multimídia), além de requisitos de QoS como tempo real e baixa latência. Para isso, foram desenvolvidas técnicas preventivas para evitar congestionamento nos enlaces, como controle de admissão e classificação de tráfego [Bae e Suda 1991].

O controle de admissão analisa uma requisição de conexão, examinando os requisitos mínimos da aplicação e características de tráfego que essa possui. Com base nesses dados, o mecanismo determina se os fluxos serão admitidos, tomando como base os recursos disponíveis, evitando situações de congestionamento por escassez de recursos. Já a técnica de classificação de tráfego mapeia as diferentes classes de serviço (*Class of Service* - CoS) de modo que o repasse de pacotes possa ser aplicado com base em prioridades, mediante o uso de um escalonador (*i.e.* disciplinador de fila), ou até mesmo por um mecanismo de controle de congestionamento, que pode ser realizado através de descarte de pacotes com menor prioridade [Chipalkatti et al. 1989].

Grande parte dos mecanismos de QoS em redes IP [Fortz e Thorup 2000, Fortz et al. 2002, Fortz e Thorup 2002] baseiam-se em estratégias de roteamento que utilizam algoritmos que possuem a finalidade de encontrar o melhor caminho entre dois nós da rede, tal como o algoritmo SPF (*Shortest Path First*) [Deo e Pang 1984], que repassa os pacotes com base no menor custo atribuído aos enlaces. Uma vez que pode haver múltiplos caminhos com o menor custo entre dois nós, o ECMP (*Equal Cost Multth Path*) [Hopps 2000] pode ser utilizado. Por meio dele é possível implementar balanceamento de carga entre esses caminhos com o objetivo de promover uma distribuição equilibrada do tráfego.

O conceito de comutação por rótulo possibilitou as redes MPLS [Awduche 1999, Awduche et al. 1999] oferecerem uma solução aos problemas apresentados nas redes IP, dando suporte a uma maior granularidade no roteamento do tráfego. Os rótulos são distribuídos entre os elementos da rede através do Protocolo de Distribuição de Rótulos (*Label Distribution Protocol* – LDP), sendo usados para o roteamento ao invés dos cabeçalhos IP convencionais, formando caminhos bem definidos nos roteadores LSR (*Label Switching Router*), denominado LSP (*Label Switching Path*). Mecanismos de QoS podem ser empregados em túneis LSP através de um protocolo de sinalização, tal como o RSVP (*Resource Reservation Protocol* – RSVP), que reserva recursos em múltiplos túneis entre dois nós, de modo que o tráfego possa ser dividido.

As soluções baseadas em redes IP tornam complexa a gerência dos recursos, visto que o plano de dados e o plano de controle são distribuídos entre os elementos de rede. Outro problema das redes convencionais é a deficiência na escalabilidade das redes MPLS [Akyildiz et al. 2003], pois o número de túneis são limitados e definidos em função do número de nós na rede. Além disso, em caso de falha em um dos enlaces, os túneis são incapazes de adotarem rotas alternativas.

Apesar dos problemas descritos, estas estratégias se consolidaram na Internet por muitos anos, sendo eficazes na ausência dos requisitos das redes atuais, que crescem constantemente ao passo que novos serviços e tecnologias são integradas, apresentando uma exigência cada vez maior e mais diversificada por parte do usuário. Assim, as redes se tornam cada vez mais heterogêneas e complexas, apresentando problemas de flexibilidade, escalabilidade e manutenção, motivado pela lógica descentralizada da rede, além de não permitir o uso de novos mecanismos que visam otimizar o uso dos recursos e aprimorar a satisfação do usuário. Este cenário justifica o uso do paradigma SDN, que fornece ao administrador da rede uma imensa variedade de facilidades, graças ao desacoplamento do plano de controle e do plano de dados. Através disso é possível avançar rapidamente no sentido de desenvolvimento e inovação de novas tecnologias de redes, uma vez que já

não é mais necessário realizar modificações no núcleo da infraestrutura para avaliação e validação de novas propostas.

Desse modo, diferentes estudos foram propostos para otimizar os níveis de QoS, de forma a maximizar a performance da rede fazendo o uso do paradigma SDN. O estudo levantado em [Bhattacharya e Das 2013] realiza uma investigação sobre os principais problemas no provisionamento fim-a-fim de QoS através de múltiplos domínios da Internet e propõe uma arquitetura para interações entre provedores de serviço (*Internet Service Providers* – ISPs). Desse modo, as alocações de recursos são realizadas de maneira dinâmica, com base em Acordos de Nível de Serviço (*Service Level Agreement* – SLA), também tratando de outros problemas administrativos.

O mecanismo proposto em [Xu et al. 2015] implementa gerenciamento de QoS através da diferenciação entre fluxos prioritários, que necessitam de mais recursos da rede, e de melhor esforço. Assim, essa ferramenta é responsável por selecionar o melhor caminho baseado nas características do enlace (*i.e.* largura de banda disponível), podendo ajustá-lo ao longo do tempo.

O trabalho apresentado em [Cui et al. 2015] descreve a implementação de um esquema de alocação dinâmica de recursos, dando suporte a diferentes tipos de serviços, como Voz sobre IP (VoIP), vídeo *streaming* e jogos *online*. Além disso, balanceamento de carga é aplicado para evitar congestionamento e ociosidade dos links, de modo a otimizar utilização dos recursos.

A solução proposta por [Logota et al. 2013] utiliza o conceito de sobreprovisionamento de recursos, onde a reserva para um fluxo é fornecida acima da capacidade requerida, o que reduz o número de sinalizações entre os elementos de rede, diante a dinâmica das demandas dos serviços.

Embora tais estudos tenham mostrado eficácia na utilização de recursos, nenhum deles apresentou resultados que demonstrassem a perspectiva do usuário, de modo a avaliar a qualidade de experiência (QoE) sobre o conteúdo transmitido sob as condições de experimentação. Nesse sentido, medições dos níveis de QoE podem ser empregadas para medir a qualidade do conteúdo transmitido, podendo ser realizada de maneira objetiva ou subjetiva. Os métodos subjetivos baseiam-se na própria percepção humana para avaliação, mas torna-se ineficiente devido ao fato de envolver um alto custo em recursos humanos. De modo a evitar este tipo de problema, foram desenvolvidos métodos objetivos baseados nos parâmetros de QoS, embora ainda sejam uma forma indireta de avaliar QoE. Assim, modelos de algoritmos foram construídos para avaliar diretamente e de maneira confiável a QoE no ponto de vista do usuário.

Uma das métricas objetivas utilizadas baseia-se na Similaridade Estrutural (*Structural Similarity* – SSIM) [Wang et al. 2004], que considera as características do Sistema Visual Humano (*Human Visual System* – HVS) para medir a diferença na estrutura entre duas imagens. A estruturação consiste na correlação espacial entre os *pixels*, ou seja, um *pixel* possui uma relação de dependência entre os elementos vizinhos. Desse modo, o algoritmo realiza uma comparação entre a imagem de referência e a imagem de teste, de modo a quantificar a sua degradação. A fidelidade da imagem é diretamente proporcional a um número real no intervalo de 0 a 1.

Existem outras métricas de verificação de qualidade multimídia aceitas ampla-

mente pela comunidade científica, como o VQM [Wolf e Pinson 2002]. Este método considera vários parâmetros que prejudicam a qualidade do vídeo recebido, como borrrões, movimentos não-naturais, ruídos globais, distorção de cores e similaridade estrutural, combinando tais parâmetros em um número real entre 0 e 1, onde este valor é inversamente proporcional a qualidade da imagem percebida.

3. Estudo de caso

A metodologia empregada na avaliação baseou-se na criação de um ambiente de rede no emulador Mininet [Lantz et al. 2010], cujos elementos da estrutura (e.g. *switches*, roteadores e controladores) podem ser gerenciados por meio do OpenFlow, permitindo uma gerência do plano de controle de forma mais eficiente e possibilitando a adoção de técnicas granulares de controle QoS. Para tal, dois conjuntos de avaliação foram adotados: (i) o primeiro fazendo uso do plano de controle SDN e; (ii) o segundo fazendo uso de uma abordagem típica (a exemplo do tradicionalmente adotado pelos provedores de serviço Internet, sem garantias de QoS). A abordagem fazendo uso do plano de controle SDN foi implementada sob o controlador POX seguindo a estratégia de sobre-aprovisionamento de recursos proposta em [Logota et al. 2013], configurada em um notebook Dell Vostro 3360, Intel Core i7, 8G RAM, 1TB e sistema operacional Ubuntu 14.04.4. A infraestrutura foi emulada no Mininet, compreendendo 25 *hosts* distribuídos em uma topologia que simula o comportamento de tráfego de Provedores de Serviço Internet (*Internet Service Provider* – ISP).

A metodologia de avaliação de QoE implicou na análise do comportamento de um conteúdo multimídia real transmitido para um *host*, cujo tráfego é baseado na especificação proposta em [Babiarz et al. 2006] e distribuição de vídeo controlado pela ferramenta Evalvid [Klaue et al. 2003], fazendo uso de uma mídia com as seguintes características: *codec* H.264, resolução de 1280x720, taxa de 30 quadros por segundo, *bitrate* de 1.3 Mbps e duração de 10 segundos. Os 24 *hosts* restantes utilizarão tráfego sintético, gerado pela ferramenta iPerf [Tirumala et al. 2005], de modo que os recursos da rede alcancem o estado de exaustão. Para uma aferição mais precisa, o nível de qualidade do vídeo é medido para estimar as capacidades de ambas configurações (plano de controle SDN e abordagem típica) em manter os *hosts* sempre melhor conectados, de modo que possam assegurar níveis aceitáveis de QoE para as sessões em execução.

Com o intuito de avaliar o impacto dos níveis de controle fornecidos pelas configurações de rede adotadas na avaliação, as métricas (SSIM) e (VQM) foram selecionadas como principais métricas objetivas de QoE. As medições foram obtidas utilizando a ferramenta de qualidade *MSU Video Quality Measurement Tool* (VQMT) [MSU VQMT 2016], que recebe como entrada o vídeo original (enviado pela fonte) e o vídeo processado (recebido pelo *host*). A ferramenta VQMT procede as análises da seguinte maneira: (i) para a métrica SSIM, um valor entre 0 e 1 é indexado, onde o índice 1 significa 100% de correlação (*i.e.* exatamente a mesma imagem) e um índice 0 indica uma disparidade (*i.e.* nenhuma correlação) com a imagem original; (ii) na métrica VQM, que considera a estrutura da imagem, o resultado também é expresso por um número, onde a qualidade será melhor quando este for mais próximo de 0.

Os resultados apresentados na Figura 1 revelam que as métricas SSIM e VQM demonstram claramente os benefícios das funções orientadas à qualidade providas pela

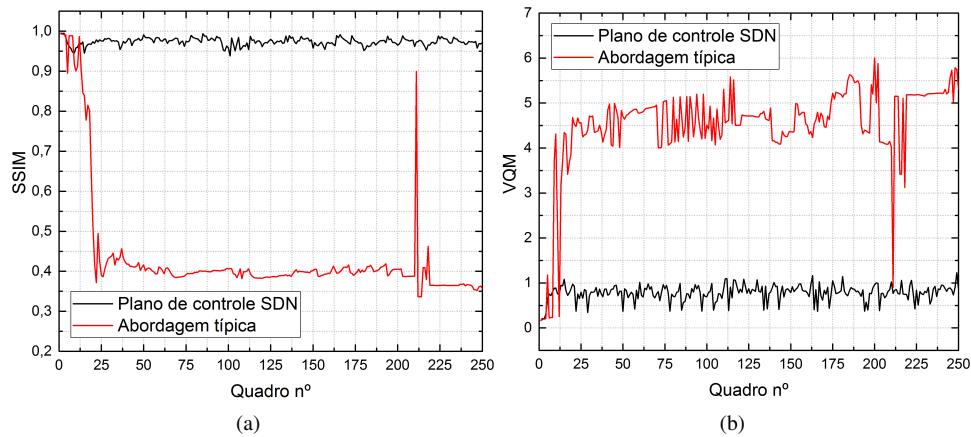


Figura 1. Resultado da avaliação com as métricas SSIM e VQM

abordagem do plano de controle SDN, garantindo bons níveis de QoE. Na análise SSIM, a abordagem SDN supera a configuração típica mantendo uma alta correlação entre os fluxos do vídeo original e o processado, alcançando uma otimização de 120.45% (média de 0.97 em comparação a 0.44). Na métrica VQM, a abordagem do plano de controle SDN manteve uma média de aproximadamente 0.78 enquanto que a abordagem típica alcançou 4.51 (reduzindo a qualidade do vídeo em 587.17%). Com o intuito de se obter uma melhor perspectiva qualitativa a partir dos resultados apresentados na Figura 1, foi selecionado um quadro aleatório (do conjunto enviado a determinado *host*) para mostrar o efeito resultante dos benefícios do plano de controle SDN, conforme apresentado na Figura 2.



Figura 2. Comparativo entre quadros da sequência enviada aos *hosts*

As funções providas pelo plano de controle SDN permitem manter o conteúdo da sessão em um alto nível de qualidade, o que é claramente visível na Figura 2 (a), que apresenta o quadro nº 83 da sequência do vídeo enviado. Em contraste, o mesmo quadro enviado ao *host* fazendo uso da infraestrutura de rede baseada na abordagem típica sofre uma grande distorção, causada principalmente pela perda de pacotes e alta latência.

4. Conclusões e trabalhos futuros

O paradigma SDN permite expandir as capacidades do plano de controle através de mecanismos avançados de gerência de recursos, a exemplo do adotado neste trabalho. Além

disso, a implementação, avaliação e validação de novas estratégias podem ser realizadas de maneira muito simples, viabilizando o rápido desenvolvimento de novas tecnologias para a Internet do Futuro. Os próximos passos deste trabalho consistem no desenvolvimento de mecanismos autoadaptativos de QoS capazes de reagir a alterações de condições da rede que coloquem em risco a QoE do usuário.

Referências

- Akyildiz, I., Anjali, T., Chen, L., de Oliveira, J., Scoglio, C., Sciuto, A., Smith, J., and Uhl, G. (2003). A new traffic engineering manager for DiffServ/MPLS networks: design and implementation on an IP QoS Testbed. *Computer Communications*, 26(4):388 – 403. Quality of Future Internet Services.
- Akyildiz, I. F., Lee, A., Wang, P., Luo, M., and Chou, W. (2014). A roadmap for traffic engineering in SDN-OpenFlow networks. *Computer Networks*, 71:1 – 30.
- Awduche, D., Malcolm, J., Agogbua, J., O'Dell, M., and McManus, J. (1999). Requirements for Traffic Engineering Over MPLS.
- Awduche, D. O. (1999). MPLS and traffic engineering in IP networks. *IEEE Communications Magazine*, 37(12):42–47.
- Babiarz, J., Chan, K., and Baker, F. (2006). Configuration Guidelines for DiffServ Service Classes. Internet Engineering Task Force (IETF) Request for Comments (RFC) número 4594.
- Bae, J. J. and Suda, T. (1991). Survey of traffic control schemes and protocols in ATM networks. *Proceedings of the IEEE*, 79(2):170–189.
- Bhattacharya, B. and Das, D. (2013). SDN based architecture for QoS enabled services across networks with dynamic service level agreement. In *2013 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)*, pages 1–6.
- Boucadair, M. and Jacquenet, C. (2014). Software-defined networking: A perspective from within a service provider environment. RFC 7149, RFC Editor.
- Chipalkatti, R., Jurose, J. F., and Towsley, D. (1989). Scheduling policies for real-time and non-real-time traffic in a statistical multiplexer. In *INFOCOM '89. Proceedings of the Eighth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Technology: Emerging or Converging, IEEE*, pages 774–783 vol.3.
- Cisco (2015). Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2014-2019. Technical report.
- Cui, H., Ma, C., Lai, W., and Liu, Y. (2015). Accurate Network Resource Allocation in SDN according to Traffic Demand. *4th International Conference on Mechatronics, Materials, Chemistry and Computer Engineering*, pages 1166–1175.
- Deo, N. and Pang, C.-Y. (1984). Shortest-path algorithms: Taxonomy and annotation. *Networks*, 14(2):275–323.
- Fortz, B., Rexford, J., and Thorup, M. (2002). Traffic engineering with traditional IP routing protocols. *IEEE Communications Magazine*, 40(10):118–124.

- Fortz, B. and Thorup, M. (2000). Internet traffic engineering by optimizing OSPF weights. In *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, volume 2, pages 519–528 vol.2.
- Fortz, B. and Thorup, M. (2002). Optimizing OSPF/IS-IS weights in a changing world. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 20(4):756–767.
- Hopps, C. (2000). Analysis of an Equal-Cost Multi-Path Algorithm.
- Klaue, J., Rathke, B., and Wolisz, A. (2003). EvalVid - A Framework for Video Transmission and Quality Evaluation. In *In Proc. of the 13th International Conference on Modelling Techniques and Tools for Computer Performance Evaluation*, pages 255–272.
- Lantz, B., Heller, B., and McKeown, N. (2010). A Network in a Laptop: Rapid Prototyping for Software-defined Networks. In *Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Networks*, Hotnets-IX, pages 19:1–19:6, New York, NY, USA. ACM.
- Li, W., Ur-Rehman, H., Chignell, M., Leon-Garcia, A., Zucherman, L., and Jiang, J. (2014). Impact of Retainability Failures on Video Quality of Experience. *Signal-Image Technology and Internet-Based Systems (SITIS)*, pages 524–531.
- Logota, E., Campos, C., Sargento, S., and Neto, A. (2013). Advanced multicast class-based bandwidth over-provisioning. *Computer Networks*, 57(9):2075 – 2092.
- McKeown, N., Anderson, T., Balakrishnan, H., Parulkar, G., Peterson, L., Rexford, J., Shenker, S., and Turner, J. (2008). OpenFlow: enabling innovation in campus networks. *SIGCOMM Comput. Commun.*, pages 69–74.
- MSU VQMT (2016). MSU Video Quality Measurement Tool. Disponível em: http://compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool_en.html.
- Tirumala, A., Qin, F., Dugan, J., Ferguson, J., and Gibbs, K. (2005). Iperf: The TCP/UDP bandwidth measurement tool. <http://dast.nlanr.net/Projects>.
- Tutschku, K. (2009). Towards the Future Internet: virtual networks for convergent services. *Elektrotechnik und Informationstechnik*, 126(7):250–259.
- Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., and Simoncelli, E. P. (2004). Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(4):600–612.
- West, D. M. (2014). The Evolution of Video Streaming and Digital Content Delivery. *Center for Technology Innovation at Brookings*.
- Wolf, S. and Pinson, M. (2002). Video Quality Measurement Techniques. Technical Report TR-02-392, National Telecommunications and Information Administration.
- Xia, W., Wen, Y., Foh, C. H., Niyato, D., and Xie, H. (2015). A Survey on Software-Defined Networking. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 17(1):27–51.
- Xu, C., Chen, B., and Qian, H. (2015). Quality of Service Guaranteed Resource Management Dynamically in Software Defined Network. *Journal of Communications*, 10(11):843–850.