

## UM ESTUDO SOBRE OS FILTROS DE LAÇO DO FORMATO DE CODIFICAÇÃO DE VÍDEO AV1

EDUARDO ZUMMACH; JONES GOEBEL; ROBERTA PALAU; LUCIANO  
AGOSTINI; MARCELO PORTO

*Universidade Federal de Pelotas – {evzummach, jwgoebel, rcnpalau, agostini e  
porto}@inf.ufpel.edu.br*

### 1. INTRODUÇÃO

Devido ao aumento da demanda dos meios de comunicação voltados para o uso de vídeos, seja para fins educacionais, entretenimento, trabalho, entre outros, novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para capturar e reproduzir vídeos de alta qualidade. A importância dos vídeos será tanta que em 2021 é previsto que 82% tráfego de dados na internet será proveniente dos mesmos (CISCO, 2017). Por este motivo, estratégias de codificação de vídeo são essenciais para prover boas taxas de compressão de dados, procurando alta eficiência entre taxa de compressão e qualidade, uma vez que os vídeos digitais representam uma enorme quantidade de dados quando não comprimidos. O desenvolvimento de arquiteturas de *hardware* dedicado para atuar nessa área é de fundamental importância também de forma que se estabeleça sempre uma melhor relação entre velocidade de processamento e baixa dissipação de potência.

Existem diversos padrões de codificação de vídeo atualmente, tais como HEVC (FRAUNHOFER, 2019), VP9 (GRANGE, 2016), VVC (FRAUNHOFER, 2019), e o mais recente, o *AOMedia Video 1* (AV1), fundado pela *Alliance for Open Media* (AOM) em 2018. A AOM é uma organização de um grande conjunto de empresas, tais como Amazon, Google, Netflix, Microsoft, Intel, Facebook, entre outros, que se uniram com o objetivo de construir um codificador totalmente livre de royalties (AOM, 2018). Dessa forma, o AV1 é um codificador de vídeo do estado da arte e o único formato de compressão de vídeos livre de *royalties*, o que o torna um tanto promissor para pesquisas de fins acadêmicos e industriais. O AV1 foi lançado recentemente e ainda está em processo de aperfeiçoamento, com isso, existem constantes atualizações e modificações no seu software de referência (AOM, 2018). Além disso, existem poucas publicações e referências sobre o seu código, o que o torna o seu estudo um alvo ainda mais interessante para a pesquisa.

A codificação de vídeo nos padrões de codificação atuais é feita em diversas etapas, tais como: predição intra-quadro e inter-quadros, transformadas, quantização, codificação de entropia, quantização inversa, transformada inversa, e por fim, os filtros de laço, que são o foco deste trabalho. O processo de codificação ocorre sobre porções (blocos) dos quadros que compõe o vídeo. Estes blocos podem assumir diferentes tamanhos, sendo que nos codificadores atuais existem muitas possibilidades, como 64x64, 16x16, 4x4 amostras, etc.. Estes blocos são processados de forma independente uns dos outros, o que contribui para a geração de artefatos no processo de codificação, tanto pela divisão em si, gerando o efeito chamado de blocagem (LEI, 2017), como nas etapas seguintes, tal qual a quantização, que causa os efeitos de *ringing* (MIDTSKOGEN, 2018). Como estes efeitos possuem influência direta sobre a qualidade visual do vídeo codificado, são utilizados os filtros para reduzir ou até eliminar os artefatos provenientes da codificação (CHEN, 2018).

Este trabalho tem o objetivo de apresentar um estudo bibliográfico sobre os filtros de laço utilizados no codificador AV1, etapa importante presente nos codificadores de vídeo em geral, pois atua na qualidade subjetiva do vídeo codificado. Além disso, este estudo se faz necess pois não existem trabalhos na literatura que apresentem um estudo aprofundado de sua aplicação no AV1.

## 2. METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se por uma pesquisa bibliográfica envolvendo trabalhos de referência existentes na literatura, análise da documentação do AV1 e engenharia reversa sobre o software de referência do codificador AV1, disponível em (AV1, 2019). Esta estratégia de estudo foi utilizada para estabelecer um primeiro contato com o assunto. Foram também estudados a utilização de filtros idealizados a partir de outros padrões, como por exemplo os filtros de deblocação no VP9 (LEI, 2017), e de *deringing* no Daala e Thor que, na literatura, são comparados aos filtros de laço presentes no AV1 (MIDTSKOGEN, 2017). Entretanto, como o AV1 em si é um codificador novo, pouca informação pôde ser obtida, o que levou a pesquisa de outros formatos, como os citados anteriormente que utilizam conceitos similares.

## 3. FILTROS DE LAÇO DO AV1

Pela indicação da própria documentação por AOM (2018) e artigos como CHEN (2018), estão presentes três filtros no laço de reconstrução do codificador AV1, conforme apresentado na Figura 1. São eles: o *Deblocking Filter* (DBF), o *Constrained Directional Enhancement Filter* (CDEF) e por último o *Switchable Loop Restoration Filter* (SLRF). Cada filtro apresentado tem a sua importância no laço de reconstrução e função específica que serão apresentadas nas subseções seguintes.

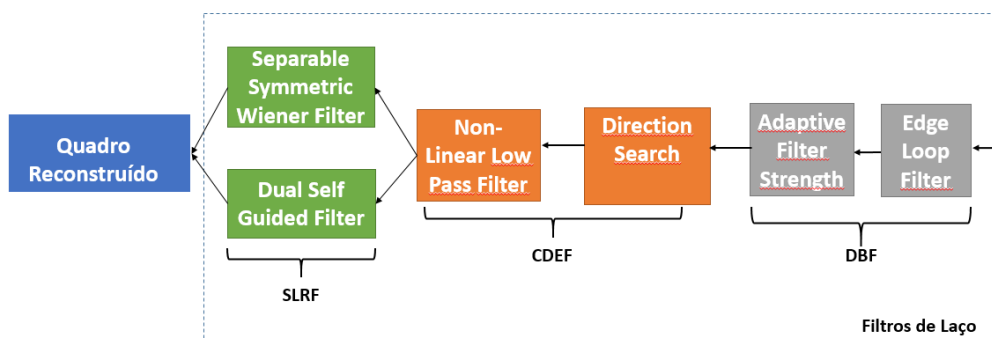


Figura 1 – Filtros de laço do AV1 em ordem de aplicação situado no laço de reconstrução do processo de codificação.

### 3.1. DEBLOCKING FILTER

Conforme indicado, este filtro é responsável pela redução do efeito de bloco sobre os quadros analisados no processo de codificação. Sua fundamentação teórica para o AV1 é proveniente do padrão VP9, sendo idênticos em aplicação, com alguns aprimoramentos conforme apresentado por LEI (2017).

Como a codificação de vídeo é caracterizada por quadros divididos em blocos (tanto no processo de predição, como nas etapas de transformadas e quantização). O DBF atua diretamente nas amostras da borda entre os blocos, tanto nas bordas verticais quanto horizontais. A força de atuação dos filtros depende de uma avaliação da borda e de uma tomada de decisão quanto a sua efetiva aplicação e intensidade de filtragem. A intensidade de filtragem está relacionada com a quantidade de amostras ao redor da borda que precisam ser modificadas para amenizar o efeito de bloco (LEI, 2017). Para isso é utilizado o filtro de deblocação, o qual no AV1 é constituído pelo *Edge Loop Filter* e o *Adaptive Filter Strength* que, em conjunto, formam o DBF.

O *Edge Loop Filter* é responsável por determinar se o bloco analisado será filtrado, e caso seja, são identificados os tamanhos dos blocos (4x4, 8x8, 16x16, 32x32 ou 64x64) e deles definido também o tamanho do filtro a ser aplicado sobre a borda de acordo com a especificação do bloco. A partir das informações derivadas do *Edge Loop Filter*, é aplicado o *Adaptive Filter Strength* com o

objetivo de avaliar a intensidade dos filtros, baseados nos parâmetros de entrada *loop filter level* (definido pelo codificador, e enviado como informação lateral) e *loop filter sharpness* que caracterizam o comportamento do filtro e tomada de decisão do codificador AV1 (AV1, 2019).

### 3.2. CONSTRAINED DIRECTIONAL ENHANCEMENT FILTER

O *Constrained Directional Enhancement Filter* (CDEF) é utilizado para amenizar artefatos de *ringing* devido ao corte de frequências (especialmente em bordas de objetos presentes no quadro do vídeo). Este filtro é composto por dois filtros, *Direction Search* e o *Non Linear Low Pass Filter*, sendo o primeiro responsável por detectar a direção de cada bloco, para então aplicar o segundo ao longo desta direção.

Diferente do filtro de deblocação, este filtro atua somente sobre blocos de tamanhos fixos, nos quais oito direções pré-definidas são comparadas com o bloco analisado. Para encontrar a direção, é calculado o mínimo do erro médio quadrático entre o bloco analisado e o pré-definido. Com a direção detectada, é aplicado então o *Non Linear Low Pass Filter* com o objetivo de eliminar grandes variações de valores identificados naquela direção baseado em dois parâmetros chamados de *strength* e *damping* (CHEN, 2018). Para evitar o *blurring* (desfoque na imagem causado pelo corte de altas frequências), o *Non Linear Low Pass Filter* desconsidera/desacentua grandes variações de pixels sobre o pixel a ser filtrado. Com o objetivo de melhorar o efeito do filtro, são consideradas também as direções secundárias ( $\pm 45^\circ$  à direção principal detectada) (MIDTSKOGEN, 2018).

### 3.3. SWITCHABLE LOOP RESTORATION FILTER

Com os dois filtros anteriores já aplicados sobre o quadro, o *Loop Restoration Filter* finaliza a atuação dos filtros no laço de reconstrução. Utiliza-se um processo de restauração com fins de obter uma qualidade visual melhor da imagem. Nos filtros utilizados neste bloco, conforme apresentado na Figura 1, a imagem codificada é comparada com a original, e então estabelecidos parâmetros que amenizam artefatos ainda presentes nos quadros avaliados durante o processo de codificação (CHEN, 2017).

O *Loop Restoration Filter* é dividido em dois filtros, o *Separable Symmetric Normalized Wiener Filter* e o *Dual Self Guided Filter*. A partir de uma tomada de decisão é definido qual filtro irá atuar no quadro atual. Este quadro é dividido em LRUs (*Loop Restoration Units*) de dimensões 64x64, 128x128 ou até 256x256 e então está pronto para a atuação do filtro.

O *Separable Symmetric Normalized Wiener Filter* foi desenvolvido a partir do trabalho proposto por SIEKMANN (2010) tendo alguns aprimoramentos para a implementação em CHEN (2017), mas sendo em geral um filtro de Wiener 7x7 que atua separadamente nas componentes horizontais e verticais sobre a LRU analisada (o que também causa a simetria do filtro), utilizando a imagem original e a reconstruída para determinar os coeficientes.

Para o *Dual Self Guided Filter*, o princípio é similar ao filtro de Wiener, porém, sua abordagem é caracterizada por um processo estatístico sobre a LRU avaliada, relacionando uma imagem  $p$  a ser guiada com uma imagem alvo  $l$  (original), e então estabelecido um modelo linear para a janela de análise do quadro (LRU). Quando  $l$  é igual a  $p$ , determina-se o filtro autoguiado, com efeitos que buscam preservar e melhorar características de borda do quadro, atenuando discrepâncias oriundas da codificação.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta pesquisa encontra-se em estágio inicial, portanto ainda não possui resultados ou discussões conclusivas. Porém, ela é a etapa crucial para desenvolvimento de arquiteturas de hardware dedicadas para os filtros do padrão

AV1. Alguns resultados preliminares podem ser citados, tais como a implementação do CDEF a partir dos módulos *Direction Search* e *Non Linear Low Pass Filter*, no programa Matlab com fins de auxiliar na compreensão e validação deste filtro e comparar com artigos da literatura. Além disso, um dos filtros do CDEF, especificamente o filtro *Directional Search*, está sendo descrito em linguagem de descrição de hardware VHDL a partir do programa Quartus Prime e encontra-se em estágio de validação.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados os filtros de laço presentes no codificador AV1 a partir de um estudo bibliográfico dos trabalhos disponíveis na literatura e da engenharia reversa realizada sobre o software de referência do codificador AV1, apresentando um conteúdo similar ao trabalho de CHEN (2018), com uma análise mais específica, abordando alguns conceitos intrínsecos às documentações e software de referência do AV1.

Este trabalho foi elaborado com o intuito de compreender a atuação dos filtros de laço do codificador AV1 para posteriormente identificar estratégias e desenvolver arquiteturas de *hardware* dedicadas para este padrão. O desenvolvimento de uma arquitetura de *hardware* dedicada neste contexto será algo inédito para a literatura atual, já que não existem publicações que explorem esses filtros até o presente momento.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOM; AV1 Bitstream & Decoding Process Specification Version 1.0.0 with Errata 1. 2018.
- AV1. **Alliance for Open Media – Git at Google**. Acessado em: 10 jun. 2019. Disponível em: < <https://aomedia.googlesource.com/aom> > .
- CHEN, Y.; MUKHERJEE, D.; Et al A switchable loop-restoration with side-information framework for the emerging AV1 video codec. **2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)**, Beijing, p.265-269, 2017.
- CHEN, Y.; MUKHERJEE, D.; Et al. An Overview of Core Coding Tools in the AV1 Video Codec. **2018 Picture Coding Symposium (PCS)**, p.41–45, 2018.
- CISCO. **Cisco Visual Networking Index Predicts Global Annual IP Traffic to Exceed Three Zettabytes by 2021**. 08 jun. 2017. Acessado em 21 ago. 2019. Disponível em: <https://newsroom.cisco.com/press-release-content?articleId=1853168>.
- Fraunhofer Heinrich Hertz Institute. **Versatile Video Coding (VVC)**. Acessado em: 05 set. 2019 Disponível em: <<https://jvet.hhi.fraunhofer.de/>>.
- Fraunhofer Heinrich Hertz Institute. **High Efficiency Video Coding (HEVC)**. Acessado em: 5 set. 2019. Disponível em: < <http://hevc.hhi.fraunhofer.de/> >.
- HE, K.; SUN, J.; TANG, X.; Guided image filtering. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v.35, n.6, p.1397-1409, 2013.
- LEI, Z.; REDDY, S.; CHEREPANOV, V.; DENG, Z.; GPGPU implementation of VP9 in-loop deblocking filter and improvements for AV1 codec. **2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)**, Beijing, p.925-929, 2017.
- MIDTSKOGEN, S.; VALIN, J. M.; **Constrained Directional Enhancement Filter draft-midtskogen-netvc-cdef-00**. Network Working Group, 27 out. 2017. Acesso em 20 jul. 2019. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/id/draft-midtskogen-netvc-cdef-00.html>>
- MIDTSKOGEN, S.; VALIN, J. M.; The AV1 Constrained Directional Enhancement Filter (Cdef). **2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings (ICASSP)**, Calgary, p.1193-1197, 2018.
- SIEKMANN, M.; BOSSE, S.; SCHWARZ, H.; WIEGAND, T.; Separable Wiener filter based adaptive in-loop filter for video coding. **28th Picture Coding Symposium, PCS 2010**, p.70-73. 2010.
- GRANGE, A.; RIVAZ, P.; HUNT, J.; **VP9 Bitstream & Decoding Process Specification v0.6**. 2016.