

## ANÁLISE DE ACESSO À MEMÓRIA DOS QUADROS RECONSTRUÍDOS NA ESTIMAÇÃO DE MOVIMENTO NO FRAUNHOFER VERSATILE VIDEO ENCODER

MATHEUS ISQUIERDO<sup>1</sup>; FELIPE SAMPAIO<sup>2</sup>, BRUNO ZATT<sup>3</sup>; DANIEL PALOMINO<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [mmisquierdo@inf.ufpel.edu.br](mailto:mmisquierdo@inf.ufpel.edu.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [zatt@inf.ufpel.edu.br](mailto:zatt@inf.ufpel.edu.br)

<sup>3</sup>Instituto Federal do Rio Grande do Sul – [felipe.sampaio@farroupilha.ifrs.edu.br](mailto:felipe.sampaio@farroupilha.ifrs.edu.br)

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – [dpalomino@inf.ufpel.edu.br](mailto:dpalomino@inf.ufpel.edu.br)

### 1. INTRODUÇÃO

A memória é amplamente reconhecida como um gargalo de desempenho, mas também representa uma grande fonte de consumo de energia, respondendo por grandes porções do consumo total de energia de sistemas de computação (YARMAND, 2019). Isso é especialmente preocupante considerando sistemas limitados em termos de energia, operando com baterias, o que restringe seus tempos de operação e desempenho. Para lidar com essas questões, os trabalhos geralmente envolvem otimizações algorítmicas, reduzindo o número de acessos feitos à memória por aplicativos de destino; e/ou projetos de hardware especializados com memórias dedicadas, como *scratchpads* (PALOMINO, 2012).

Simultaneamente, codificação de vídeo é altamente intensa em memória, realizando inúmeros acessos em busca de candidatos eficientes de codificação. Esse comportamento é exacerbado a cada nova geração de padrões de codificação. Entre os mais recentes, está o *Versatile Video Coding* (VVC/H.266) (JVET, 2022), sucessor do HEVC, alcançando 40-50% de redução na taxa de bits para representar vídeos com a mesma qualidade (WIECKOWSKI, 2020).

No entanto, tais avanços foram possíveis apenas devido a novos recursos, trazendo um aumento significativo na complexidade computacional e nos acessos à memória. Comparativamente, a implementação do codificador de referência VVC viu um crescimento de 5-30× na complexidade computacional, dependendo da configuração, e de 30× nos requisitos de largura de banda da memória (PAKDAMAN, 2020). Consequentemente, soluções viáveis para processamento em tempo real no padrão exigem uma série de otimizações. O *Fraunhofer Versatile Video Encoder* (VVenC) se encaixa nesse contexto, como uma versão rápida e eficiente do codificador VVC, com uma série de otimizações, incluindo redesenhos de *software* para reduzir gargalos de memória (BRANDENBURG, 2021). Tal implementação poderia servir como um ponto de partida para soluções de hardware orientadas à memória, no entanto, ainda não há trabalho analisando suas características de acesso à memória, especialmente na estimação de movimento, um módulo extremamente intenso em comunicação, devido a inúmeras consultas a quadros codificados anteriormente.

Portanto, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma análise de acessos do *buffer* de amostras reconstruídas na estimação de movimento VVenC, abordando impactos de algumas características, como resolução, Parâmetro de Quantização (QP) e a distribuição de acessos por estágio de estimação de movimento. Tal análise aspira servir como base para trabalhos futuros abordando o acesso à memória neste contexto.

## 2. METODOLOGIA

Para coletar dados sobre acessos de memória feitos por estimação de movimento no VVenC, usamos a *Pin* da Intel (LEVI, 2022), um *framework* de instrumentação binária dinâmica com suporte para diferentes arquiteturas, sistemas operacionais e compiladores. Sobre a *Pin*, foi desenvolvida uma ferramenta de análise que rastreou os acessos feitos ao *buffer* de amostras reconstruídas durante a estimação de movimento, coletando dados sobre durante quais estágios da estimação eles acontecem.

O VVenC v.1.10 foi executado sobre a *Pin* juntamente com a ferramenta de rastreamento de acesso, seguindo as condições comuns de teste do padrão. Parâmetros de Quantização (QPs) com valores 22, 27, 32 e 37 foram usados. Quatro vídeos foram selecionados arbitrariamente de cada uma das resoluções listadas: 240p, 480p, 720p, 1080p e 2160p, totalizando 20 sequências. A configuração de codificação escolhida foi a *Random Access* no *preset medium*, garantindo um equilíbrio entre a eficiência da codificação e o tempo de execução. Esta configuração define o vetor da área de busca e o tamanho máximo do bloco para 384 e 128 amostras, respectivamente. Apenas 64 quadros foram codificados, ou 2 *Groups of Pictures*

O processo convencional de estimação de movimento do VVenC é dividido em dois estágios principais, estimação inteira e fracionária. O primeiro estágio apresenta 3 opções: Predição de Vetor de Movimento (MVP) com *PatternSearch*, que constitui uma *Full Search*, onde toda a área de busca é avaliada em busca de um candidato — executado se o modo for explicitamente definido ou houver bi-predição (referência simultânea a quadros passados e futuros); *TZSearch*, um algoritmo de busca mais otimizado, avaliando candidatos de forma mais eficiente — executado se as condições anteriores falharem e houver um vetor de movimento vizinho disponível; e, finalmente, *PatternSearchFast*, um *TZSearch* com uma série de possíveis configurações — executado se todas as condições anteriores falharem. O segundo estágio (fracionário) é o refinamento do melhor candidato do estágio anterior, interpolando píxeis intermediários.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 1 e a Fig. 2 apresentam a porcentagem média de acessos por estágios de estimação de movimento convencional, para diferentes QPs e resoluções, respectivamente. Com a Fig. 1, podemos observar uma forte correlação negativa entre QP e intensidade de acesso durante o estágio de refinamento (estimação fracionária). Isso provavelmente se deve a menos informações de textura presentes em quadros de referência reconstruídos sob QP mais alto, devido à maior perda de altas frequências. Portanto, o estágio de refinamento tem menos informações com as quais trabalhar. Consequentemente, a proporção de acesso dos algoritmos de estimação inteira aumenta. Esse aumento é relativamente uniforme para as funções *PatternSearch* e *PatternSearchFast*. Finalmente, MVP e *TZSearch* permanecem estáveis entre QPs. Em geral, o comportamento destacado anteriormente permanece com a variação da resolução (Fig. 2), porém de forma mais inconsistente e menos uniforme. A proporção de acessos durante o refinamento diminui conforme a resolução aumenta, dessa vez provavelmente devido a uma maior similaridade entre píxeis vizinhos, reduzindo a necessidade de interpolação de píxeis intermediários. A proporção de acessos durante o MVP também permanece

estável. As funções de estimação inteira sofrem mais inconsistência, especialmente para vídeos 720p. No entanto, combinadas, elas ainda mostram crescimento atrelado à resolução.

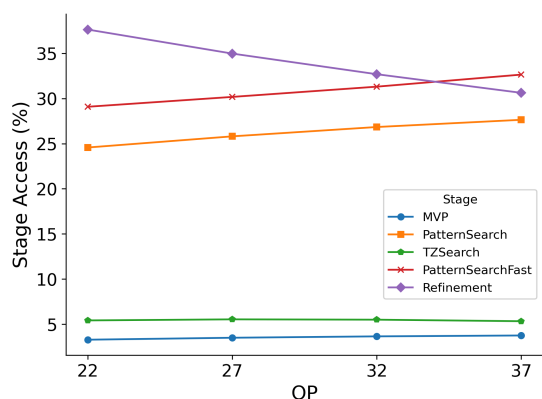


Fig. 1: Taxa média de leitura por estágio para diferentes QPs.

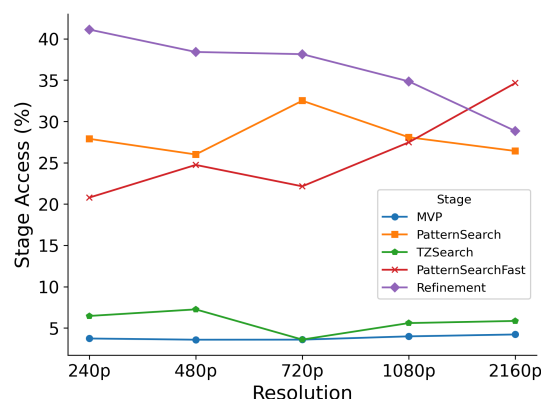


Fig. 2: Taxa média de leitura por estágio para diferentes resoluções.

A Fig. 3 mostra as médias totais de acessos por resolução e QP. É facilmente perceptível o forte impacto trazido pelo aumento da resolução, algo esperado, devido ao aumento de amostras a serem processadas, em uma relação quase exponencial. As resoluções 240p, 480p e 1080p seguem esse comportamento com mais fidelidade. 480p tem 4× os píxeis e 4,3× (QP22) os acessos de 240p. Para 1080p em comparação com 480p, esses números são 5,2× e 7,5×. As sequências 720p são as que mais diferem desse comportamento, obtendo menos acertos do que vídeos 480p. Por fim, QPs maiores apresentam menos acertos, consistentemente, independente de resolução. Novamente, isso se deve à menor quantidade de informações de textura nos quadros de referência reconstruídos sob esses QPs, graças a maiores perdas em altas frequências.

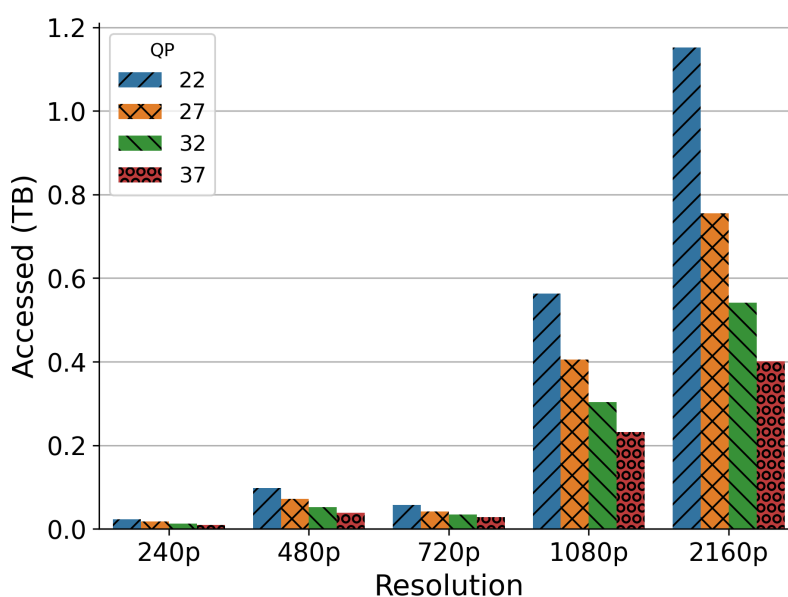


Fig. 3: Média de acessos por resolução e QP.

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma breve análise de acessos de memória do buffer de amostras reconstruídas na estimação de movimento VVenC. Nele, os impactos na intensidade de acesso de resolução, QP, e estágio da estimação de movimento foram destacados. Pudemos medir um esperado crescimento de acessos com o aumento da resolução, além de uma queda com o aumento do QP. Adicionalmente, observamos uma diminuição relativa em acessos da estimação fracionária trazidos por QPs e resoluções mais altas, seja por perda de informação de textura ou por meio redundância de amostras. Tal análise deve auxiliar em trabalhos futuros relacionados à memória na estimação de movimento do VVenC.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

YARMAND, R. KAMAL, M. AFZALI-KUSHA, A. e PEDRAM, M. "Dart: A framework for determining approximation levels in an approximable memory hierarchy," **IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems**, vol. 28, no. 1, pp. 273–286, 2019.

PALOMINO, D. SAMPAIO, F. Agostini, L. BAMPI, S. e SUSIN, A. "A memory aware and multiplierless VLSI architecture for the complete Intra Prediction of the HEVC emerging standard," in 2012 19th **IEEE International Conference on Image Processing**. Orlando, FL, USA: IEEE, Sep. 2012, pp. 201–204.

JVET. (2022, Sep. 19) Vvcsoftware vtm. ver. 18.0. Fraunhofer. [Online]. Disponível: [https://vcgit.hhi.fraunhofer.de/jvet/VVCSsoftware\\_VTM/tree/VTM-18.0](https://vcgit.hhi.fraunhofer.de/jvet/VVCSsoftware_VTM/tree/VTM-18.0)

WIECKOWSKI, A. HEGE, G. BARTNIK, C. LEHMANN, C. STOFFERS, C. BROSS, B. e MARPE, D. "Towards a live software decoder implementation for the upcoming versatile video coding (vvc) codec," in 2020 **IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)**. IEEE, 2020, pp. 3124–3128.

PAKDAMAN, F. ADELIMANESH, M. A. GABBOUJ, M. e HASHEMI, M. R. "Complexity Analysis Of Next-Generation VVC Encoding And Decoding," in 2020 **IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)**. Abu Dhabi, United Arab Emirates: IEEE, Oct. 2020, pp. 3134– 3138.

BRANDENBURG, J. WIECKOWSKI, A. HINZ, T. ZUPANCIC, I. e BROSS, B. "VVenC Fraunhofer Versatile Video Encoder," p. 15, Dec. 2021.

LEVI, O. (2022, Jul. 18) Pin - a dynamic binary instrumentation tool. versão. 3.30. Intel. [Online]. Disponível: <https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/articles/tool/pin-adynamic-binary-instrumentation-tool.html>