

PREDIÇÃO RÁPIDA DE COMPLEXIDADE PARA O ALGORITMO TEST ZONE SEARCH NO VVC

VINICIUS REIS¹; MATHEUS ISQUIERDO²; BRUNO ZATT²; DANIEL PALOMINO²

¹Universidade Federal de Pelotas (UFPeL) – vinicius.reis@ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas (UFPeL) – {[mmisquierdo](mailto:mmisquierdo@inf.ufpel.edu.br), [zatt](mailto:zatt@inf.ufpel.edu.br), [dpalomino](mailto:dpalomino@inf.ufpel.edu.br)}@inf.ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Impulsionado pela crescente popularização de dispositivos focados em multimídia, estima-se que as aplicações de vídeo serão responsáveis por 79% do tráfego global de dados da internet até 2027 (AVIA, 2023). Consequentemente, os algoritmos utilizados na compressão de vídeo exigem alto poder computacional, e as novas ferramentas incorporadas aos padrões mais recentes aumentam ainda mais o tempo de processamento (BOSSSEN, 2021). Dentre os padrões de codificação amplamente utilizados, destaca-se o *Versatile Video Coding* (VVC), introduzido em 2020, oferece uma eficiência de compressão impressionante, sendo até 50% mais eficiente em comparação com o HEVC para a mesma qualidade visual (BROSS, 2021). Entretanto, o VVC requer recursos computacionais significativamente maiores, resultando em um consumo de energia elevado para as aplicações que implementam este padrão.

Além disso, os sistemas de memória são conhecidos por contribuírem significativamente para o consumo geral de energia. Estudos mostram (ONUR, 2019) que o consumo de um acesso à memória é aproximadamente 115x o de uma operação de adição. Como resultado, a movimentação de dados corresponde 40% à 62% da energia total do sistema em aplicações científicas, móveis e de consumo (ONUR, 2019). Diante disso, para enfrentar o desafio do alto processamento computacional na codificação de vídeo, o VVC adota diversas técnicas, com foco em explorar as similaridades entre quadros dentro de uma sequência, conhecidas como Inter Predição. Nesse contexto, a Estimção de Movimento (EM) é uma etapa fundamental na Inter Predição, utilizando algoritmos de busca para identificar similaridades entre os quadros. No entanto, a EM representa uma das etapas mais onerosas em termos de recursos computacionais. Dentre os algoritmos que a EM utiliza para reduzir o atraso na codificação, destaca-se a *Test Zone Search* (TZS), que visa identificar blocos similares, evitando uma busca exaustiva por toda a área de pesquisa. Contudo, embora o TZS seja uma opção mais eficiente, ainda há um alto processamento necessário para os vetores de movimento analisados. Assim, uma predição rápida de complexidade dentro do algoritmo poderia otimizar o tempo de execução sem comprometer a eficiência da codificação.

Este trabalho propõe um método de predição rápida para a complexidade do algoritmo *Test Zone Search*, com foco na análise da etapa de Predição de Vetores de Movimento. A partir dessa análise, a complexidade do bloco é calculada e posteriormente validada, avaliando-se sua correlação com o acesso à memória, que é um fator chave no consumo de energia durante a codificação.

1.1. ALGORITMO TEST ZONE SEARCH NO VVENC

Para mitigar o alto custo computacional do VVC, implementações mais eficientes foram desenvolvidas, como o *Fraunhofer Versatile Video Encoder*

(VVenC), uma versão otimizada do codificador VTM (FRAUNHOFER, 2020). Esta implementação oferece cinco perfis de codificação — *faster*, *fast*, *medium*, *slow* e *slower* — permitindo que o balanço entre a velocidade de processamento e a eficiência de compressão seja ajustado de acordo com as necessidades da aplicação. Neste trabalho, o VVenC foi utilizado para realizar os experimentos.

Dentre os processos presentes no VVenC está o algoritmo Test Zone Search. O TZS emprega uma série de heurísticas para encontrar a melhor correspondência de bloco nos quadros de referência, aproveitando a correlação temporal presente nas regiões que circundam um bloco. No entanto, este processo permanece bastante exigente. O algoritmo *Test Zone Search* é estruturado em quatro etapas principais: (a) Predição do Vetor de Movimento, (b) Primeira Busca, (c) Busca Raster e (d) Refinamento (SANT'ANNA, 2021). A Figura 1 ilustra essas etapas em um fluxograma.

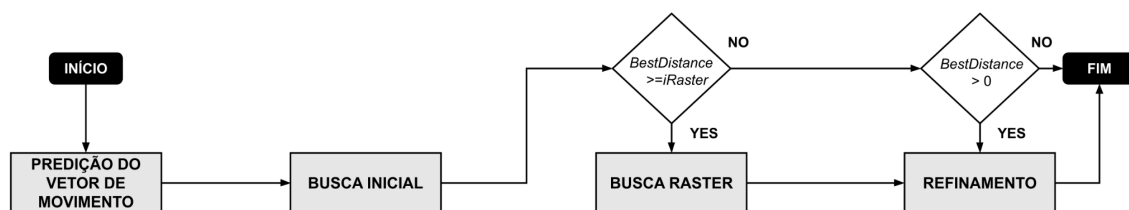


Figura 1: Estrutura do algoritmo *Teste Zone Search*

O algoritmo TZS para estimativa de movimento é um processo multifásico que se inicia com a Predição do Vetor de Movimento (MVP). Nesta etapa, o sistema aproveita a correlação espacial e temporal, utilizando vetores de movimento de blocos adjacentes para calcular um preditor mediano. O preditor que resulta na menor Soma das Diferenças Absolutas (SAD) é selecionado como ponto de partida para a fase seguinte, a Busca Inicial. Esta etapa emprega um padrão de busca em diamante ou quadrado que se expande progressivamente a partir do MVP para localizar um candidato com SAD inferior. Para garantir a eficiência computacional, o processo possui critérios de parada antecipada. Caso o número de iterações na busca inicial exceda um limiar pré-definido, uma Busca Raster exaustiva e com subamostragem é acionada para refinar a precisão da correspondência. Por fim, se a Busca Inicial tiver encontrado um vetor mais adequado que o MVP original, a etapa de Refinamento é executada, realizando uma busca análoga à inicial, porém mais contida, para realizar um ajuste fino e identificar o vetor de movimento ótimo com máxima precisão.

2. AVALIAÇÃO DE COMPLEXIDADE PARA O TEST ZONE SEARCH

Com base no conhecimento do algoritmo TZS, propõe-se uma abordagem para estimar rapidamente a complexidade deste algoritmo em sequências de vídeo. A estratégia consiste em prever a complexidade analisando a complexidade espacial e temporal do quadro em nível de bloco durante a etapa de MVP do *Test Zone Search*. A métrica proposta neste trabalho consiste em calcular a magnitude do desvio padrão dos vetores de movimento utilizados na etapa de predição do vetor de movimento do algoritmo TZS. Durante esta etapa, o algoritmo avalia um conjunto de vetores candidatos que indicam possíveis deslocamentos do bloco entre quadros vizinhos. O desvio padrão das componentes horizontal e vertical desses vetores representa a dispersão entre os

candidatos considerados. Essa medida reflete diretamente a complexidade local do processo de busca e a dispersão geral dos vetores de movimento, independentemente da direção, facilitando a interpretação e permitindo a comparação direta da complexidade entre diferentes blocos no processo de busca do TZS. A complexidade do TZS é estimada com a eq. 1.

$$\sigma_{mag} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

Onde n representa o número de vetores processados na etapa MVP do algoritmo TZS, x e y correspondem às componentes horizontal e vertical de cada vetor, respectivamente, enquanto \bar{x} e \bar{y} denotam as médias das componentes horizontal e vertical desses vetores. Este método não requer um processo excessivamente exaustivo para prever a complexidade, baseando-se em apenas alguns parâmetros para obter essa estimativa, garantindo simplicidade e rapidez. Isso elimina a necessidade de um procedimento mais trabalhoso para derivar tal medida, tornando-a uma solução prática e acessível. Sendo assim, para aferir a validade e a coerência da métrica proposta como um indicador de complexidade de codificação do algoritmo TZS, foi conduzida uma análise experimental. A hipótese central é que regiões com maior variação nos preditores de movimento demandam maior esforço computacional, o que se reflete em um maior número de acessos à memória. A validação foi estruturada em análises qualitativas e quantitativas. Na análise qualitativa realizou-se uma comparação visual entre os mapas de calor gerados pela nossa métrica e os mapas de calor que representam a densidade de acesso à memória para o mesmo quadro do vídeo *ArenaOfValor*. Esta análise permite uma verificação da correspondência espacial, onde se espera que as áreas de alta complexidade em ambos os mapas se sobreponham, indicando correlação entre as variáveis analisadas, apresentado nas figuras 2 e 3.

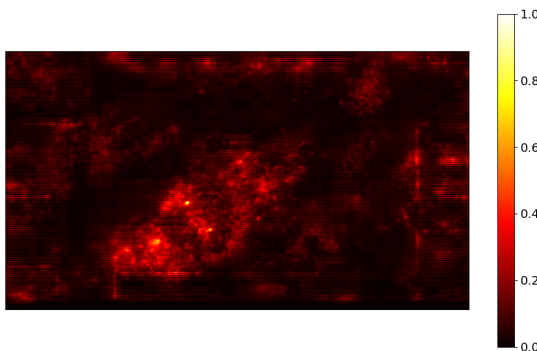


Figura 2: Acesso de memória (Quadro 1)

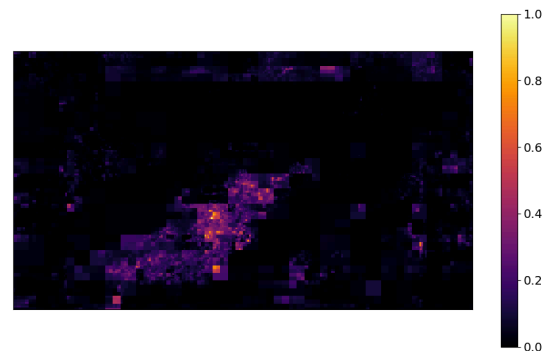


Figura 3: Métrica Proposta (Quadro 1)

Ademais, na análise quantitativa foi calculado o Coeficiente de Correlação de Pearson (PCC). A fim de entender como a escala influencia essa relação, a análise foi realizada ajustando a granularidade espacial, agregando os dados em blocos de tamanhos variados: 1x1, 2x2, 4x4, 16x16, 32x32, 64x64 e 128x128. A Figura 4 ilustra os resultados dessa análise multi-escala, comparando o comportamento da correlação para vídeos de diferentes resoluções. Este método permite avaliar a robustez da correlação em diferentes níveis de detalhe. Os resultados obtidos confirmam a eficácia da abordagem proposta observando uma correlação positiva e significativa entre a métrica de desvio padrão do MVP e a frequência de acesso à memória. Notavelmente, essa correlação demonstrou

uma tendência de aumento conforme o tamanho do bloco e a resolução do quadro aumentavam, atingindo valor máximo de 0,78 em blocos 128x128.

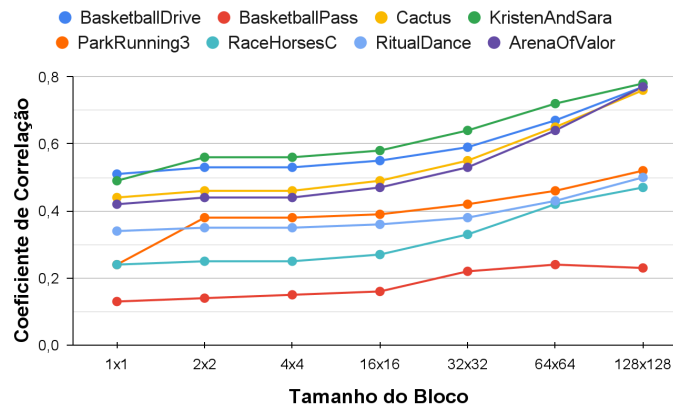


Figura 4: Gráfico de Comparação do PCC vs. Tamanho do bloco

5. CONCLUSÃO

Este trabalho propõe uma métrica rápida e eficiente para prever a complexidade do *Test Zone Search*, fundamentada no desvio padrão dos vetores de movimento da etapa MVP. A métrica foi validada através de uma forte correlação com o acesso à memória (picos de PCC de 0,78). Esses resultados posicionam a métrica como uma ferramenta promissora para a implementação de otimizações adaptativas em codificadores de vídeo, visando um melhor equilíbrio entre desempenho e qualidade visual.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AVIA. **Asia Video Industry Report 2024**: AVIA, 2023. Disponível em: <https://avia.org/wp-content/uploads/2023/11/Asia-Video-Industry-Report-2024.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2024.
- F. BOSSEN, K. SÜHRING, A. WIECKOWSKI AND S. LIU, "VVC Complexity and Software Implementation Analysis," in **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**, vol. 31, no. 10, pp. 3765-3778, Oct. 2021.
- B. BROSS et al., "Overview of the Versatile Video Coding (VVC) Standard and its Applications," in **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**, vol. 31, no. 10, pp. 3736-3764, Oct. 2021.
- MUTLU, O. et al. Processing data where it makes sense: Enabling in-memory computation. **Microprocessors and Microsystems**, v.67, p.28-40, 2019.
- FRAUNHOFER INSTITUTE FOR TELECOMMUNICATIONS. **Fraunhofer hhi is proud to present the new state-of-the-art in global video coding: H.266/vvc brings video transmission to new speed**. 2020.
- SANT'ANNA, G. B.; CANCELLIER, L. H.; SEIDEL, I.; GRELLERT, M.; GÜNTZEL, J. L. Relying on a Rate Constraint to Reduce Motion Estimation Complexity. In: **IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)**, Toronto, 2021.