

OTED: UMA TÉCNICA DE OTIMIZAÇÃO PARA DECODIFICAÇÃO ENERGETICAMENTE EFICIENTE NO HEVC

DOUGLAS CORRÊA; DANIEL PALOMINO; BRUNO ZATT

Universidade Federal de Pelotas – Video Technology Research Group (ViTech)
{dscorrea, dpalomino, zatt} @inf.ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Vídeos digitais estão cada vez mais presentes na vida das pessoas atualmente, principalmente devido a popularização de dispositivos capazes de capturar e reproduzir esse tipo de mídia, como *tablets* e *smartphones*. Essa popularização causa um grande aumento de vídeos digitais no tráfego da internet. Assim, é estimado que no ano de 2019, 82% de todo o tráfego da internet seja apenas de vídeos digitais (CISCO, 2015). Esse cenário se torna mais desafiador devido a demanda por vídeos de resoluções cada vez maiores, como UHD 4K e 8K. Para melhorar as taxas de compressão e habilitar o uso dessas resoluções emergentes, o *High Efficiency Video Coding* (HEVC), que é o atual estado-da-arte em codificação de vídeo, foi desenvolvido para substituir padrões de codificação antigos. O HEVC dobra a taxa de compressão atingida pelo seu antecessor, o H.264/AVC, aumentando a complexidade em seu codificador e decodificador.

O aumento na complexidade computacional no decodificador, que pode ser de até 87% (VIITANEN, 2012), torna-se um problema para usuários finais com bateria limitada, já que o aumento na complexidade se traduz em uma decodificação menos energeticamente eficiente. Além disso, considerando cenários onde o número de decodificações é muito maior do que o número de codificações, como serviços de *streaming online* ou o sistema de televisão, o aumento na complexidade pode se tornar um problema em contexto global (CORRÊA, 2017). Como o consumo de energia é uma das principais preocupações ao projetar novos dispositivos, é necessário pesquisar soluções que reduzam o consumo energético da decodificação no HEVC.

Sendo assim, esse trabalho propõe uma técnica de otimização energeticamente eficiente da decodificação para o HEVC (*Encoding Optimization Technique Targeting Energy Efficient HEVC Decoding* - OTED) explorando o conceito de *coding-for-decoding*. Essa técnica muda o cálculo do *Rate-Distortion Optimization* (RDO) no processo de codificação adicionando uma nova variável a ser considerada, nesse caso a estimativa de energia consumida na decodificação. Juntamente a isso, esse trabalho usa o *Running Average Power Limit* (RAPL) para fazer medições e apresentar resultados reais de energia.

A organização do artigo é a seguinte: após a seção 1 que é a introdução, segue-se a seção onde é apresentado um panorama geral das ferramentas necessárias para a implementação da solução no HEVC juntamente com a explicação do algoritmo proposto. Os resultados e as discussões relacionadas são apresentados na seção 3. A conclusão é apresentada na seção 4.

2. METODOLOGIA

Para facilitar o processo de codificação, primeiramente o HEVC divide o quadro de um vídeo em regiões de mesmo tamanho (64x64 pixels) chamadas de *Coding Tree Units* (CTU). Então cada CTU pode ser subdividida em quatro blocos de $N/2 \times N/2$ pixels. Esse processo pode acontecer em cada bloco até que atinja seu tamanho mínimo de 8x8 pixels, esses blocos são chamados de *Coding Units* (CU). Além dos múltiplos tamanhos que cada CU pode assumir, também pode ser

codificada de diferentes maneiras. Isso significa que existe um grande número de diferentes modos de codificação para uma dada CTU.

Para escolher a melhor codificação de cada CTU, o HEVC implementa o *Rate-Distortion Optimization* (RDO). O RD_{cost} é utilizado dentro do RDO para achar a melhor combinação entre taxa de *bits* e distorção para cada CU. Já que uma codificação ótima em termos de taxa de *bits* e distorção é desejada, o RDO testa todas as possibilidades possíveis de tamanho e modos de codificação para cada CTU. Então existe um laço dentro do codificador que executa essas duas etapas essenciais da decodificação: Transformada Inversa (TI) e Quantização Inversa (QI). Para cada modo de codificação possível, o RDO compara o RD_{cost} da melhor possibilidade de codificação atual com uma nova. Caso o RD_{cost} desse modo seja menor, ela torna-se a atual melhor possibilidade de codificação.

O principal objetivo desse trabalho é realizar uma decodificação mais energeticamente eficiente no HEVC. Para isso, o *Rate-Distortion Optimization* (RDO) é modificado para considerar uma nova variável: a estimativa de energia gasta no decodificador. Como apresentado na seção anterior, as etapas de TI e QI estão presentes também no codificador HEVC e são executadas para cada possibilidade possível de codificação. Assim, essa estimativa pode ser útil para fazer o codificador escolher modos que gastem menos energia na decodificação.

Neste trabalho é proposto uma técnica de otimização energeticamente eficiente da decodificação (*Encoding Optimization Technique Targeting Energy Efficient HEVC Decoding* - OTED), que usa o estágio de reconstrução de um bloco (TI/QI) da codificação como uma estimativa de energia gasta no processo de decodificação. Para isso, o DOTE modifica o RDO para avaliar além do RD_{cost} também a estimativa de energia (E_{dec}) que cada modo de codificação gastará durante a decodificação. A Figura 1 mostra o fluxograma da implementação do DOTE.

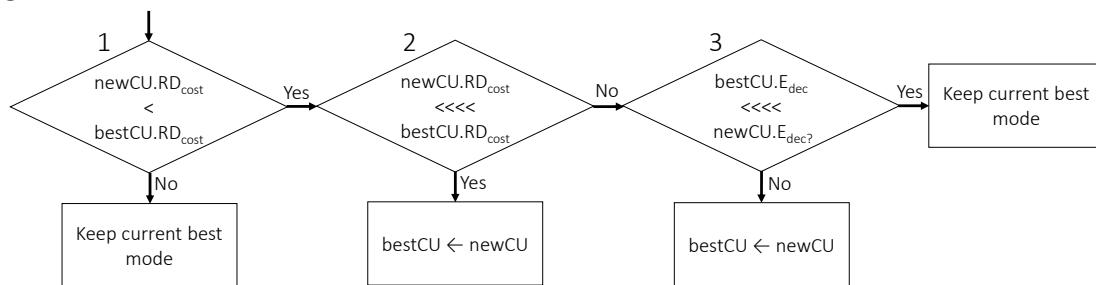


Figura 1. Fluxograma para o algoritmo DOTE

A partir deste ponto, o novo modo de codificação da CU avaliada pelo DOTE será chamado de *newCU* enquanto o atual melhor será chamado de *bestCU*.

O primeiro condicional do algoritmo proposto (indicado pelo número 1 na Figura 1), possui a mesma lógica do RDO padrão, onde o RD_{cost} da *bestCU* e *newCU* são comparados. Caso o RD_{cost} do *newCU* seja maior que o da *bestCU* o DOTE mantém o melhor modo atual e para sua execução até processar a próxima avaliação. Caso seja menor, passa para o condicional 2. No condicional 2 (número 2 na Figura 1) o algoritmo avalia a diferença entre os RD_{cost} dos dois modos a serem avaliados. Para isso, a implementação multiplica o $bestCU.RD_{cost}$ por um valor relacionado a sua porcentagem (por exemplo 0,9 para ter 90% do valor total) e avalia se o $newCU.RD_{cost}$ é menor que esse valor. Essa condição é necessária para avaliar se o RD_{cost} da *newCU* é muito menor do que o da *bestCU*. Caso a condição seja verdadeira, significa que mesmo que a energia de decodificação (E_{dec}) da *bestCU* seja menor que a da *newCU*, a energia adicional

gasta para decodificar os *bits* a mais e a degradação na qualidade da imagem não compensará essa redução na E_{dec} . Sendo assim, caso a condição 2 seja verdade, *newCU* e *bestCU* são trocadas. Caso seja falsa, procede para a próxima condição do algoritmo.

No condicional 3 é dado uma chance do melhor modo ser mantido. Para isso, o *newCU.E_{dec}* é reduzido da mesma maneira que o *RD_{cost}* no condicional 2 e então o *bestCU.E_{dec}* é comparado com esse novo valor reduzido. Caso a condição seja verdadeira, significa que a *bestCU* é mais energeticamente eficiente para a decodificação e então é mantido como modo de codificação. Caso seja falsa, a *newCU* é trocada e torna-se o melhor modo atual.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validação dos resultados de redução energética foram testados 7 *thresholds* diferentes. Esses *thresholds*, como explicados na seção 3, servem para reduzir os valores a serem comparados, como no caso do condicional 2 e 3. Para o condicional 2 foram utilizados 7 *thresholds* diferentes, variando de 1% até 7%. Enquanto no condicional 3 somente um *threshold* foi utilizado, de 10%. Os valores dos *thresholds* referem-se a porcentagem que o valor será reduzido. Isso significa que para um *threshold* de 5%, o valor foi multiplicado por 0,95. Além disso, o resultado de cada *threshold* foi normalizado em relação a codificação original, ou seja, sem a implementação do DOTE. Isso significa que se um *threshold* alcança uma redução de 10% no consumo energético, esse valor é em relação ao codificador padrão. Cinco vídeos foram utilizados para validar os resultados, todos na resolução 1920x1080 pixels, utilizando 4 parâmetros de quantização (QP). Os vídeos são *BasketballDrive* (BD), *BQTerrace* (BQ), *Cactus* (Cac), *Kimono1* (Ki) e *ParkScene* (PS). A Tabela 1 mostra os resultados de redução energética para o decodificador alcançados pelo DOTE.

Tabela 1. Redução Energética no Decodificador

Threshold	QP 22	QP 27	QP 32	QP 37	Média
1%	5,84%	3,74%	2,19%	1,59%	3,34%
2%	10,48%	6,71%	3,10%	2,73%	5,76%
3%	14,04%	7,92%	4,70%	0,62%	6,82%
4%	16,75%	10,15%	5,23%	3,77%	8,98%
5%	19,80%	11,78%	5,88%	3,52%	10,25%
6%	20,09%	12,75%	7,19%	5,20%	11,31%
7%	21,29%	13,61%	6,67%	5,02%	11,65%

Analizando a Tabela 1, nota-se que com a mudança do QP a redução de consumo de energia alcançada pelo DOTE varia drasticamente. Para um *threshold* de 7%, por exemplo, no QP 22 a redução alcançada chega a ser mais de 21%, enquanto no QP 37 é de 5%. O mesmo se repete para todos os *thresholds* testados. Em média, o algoritmo proposto atinge valores entre 3,34% e 11,65% dependendo do *threshold*. Existe uma clara relação entre aumento do *threshold* e aumento na redução de energia atingida pela decodificação.

Contudo, para ser implementado no codificador do HEVC, o DOTE pode causar um *overhead* no consumo energético do codificador. Por isso, também foi analisado nesse trabalho o acréscimo no consumo de energia do codificador causado pelo DOTE. Para isso, o consumo de energia do codificador padrão e do codificador com o DOTE implementado foram medidos. Porém, diferentemente do decodificador, não existe uma relação clara entre acréscimo/redução no consumo

energético do codificar e o QP. Além disso, o aumento médio do consumo energético do codificador varia entre 0,01% até 1,91%, dependendo do *threshold* avaliado. No total, em média, o DOTE aumenta em 0,89% o consumo de energia pelo codificador do HEVC, o que pode ser considerado irrisório.

Além disso, já que o processo de RDO é modificado para priorizar modos mais energeticamente eficientes para o decodificador, nem sempre o modo com melhor taxa entre *bits* e distorção será escolhido, por isso existe um aumento na taxa de *bits* do vídeo codificado e também uma degradação visual. Esses resultados são mostrando na Tabela 2, onde a métrica *Bjøntegaard Delta Rate* (BD-rate) foi utilizada para representar o aumento no número de bits para manter a mesma qualidade visual do vídeo codificado com o HEVC padrão.

Tabela 2. Resultados de BD-rate

Threshold	BD	BQ	Cac	Ki	PS	Média
1%	0,71%	0,24%	1,35%	0,82%	0,86%	0,80%
2%	2,20%	1,48%	3,60%	2,22%	2,98%	2,49%
3%	4,01%	3,86%	6,29%	3,94%	6,01%	4,82%
4%	6,35%	6,58%	9,36%	8,50%	9,69%	7,56%
5%	8,82%	9,21%	12,7%	7,82%	14,1%	10,6%
6%	11,5%	12,2%	16,2%	9,5%	18,2%	13,6%
7%	14,5%	15,0%	20,0%	11,2%	23,1%	16,8%

Analizando a Tabela 2, nota-se que com o aumento do *threshold* maior é o BD-rate em todos os vídeos, já que menos modos com a relação taxa de *bits* e distorção ótima é escolhida. Porém, trabalhos (HERGLOTZ, 2016) já demonstraram que esse aumento no número de *bits* é irrisório em relação a redução de consumo energético alcançada no decodificador e vídeos com resoluções baixas são os mais afetados.

4. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma técnica de otimização para decodificação energeticamente eficiente no HEVC (chamada de *Encoding Optimization Technique Targeting Energy Efficient HEVC Decoding* – DOTE). Como resultado, o algoritmo proposto alcança até 21,29% de redução energética no consumo do decodificador do HEVC, aumento em no máximo 2,41% no consumo de energia do codificador. Além disso, dependendo da necessidade do usuário final, por exemplo, pode-se modificar os parâmetros de entrada do codificador para aumentar ainda mais a redução no consumo energético do decodificador.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cisco. The Zettabyte Era: Trends and Analysis. **White Paper**, 2015.
- M. Viitanen, J. Vanne, T. D. Hämäläinen, M. Gabbouj and J. Lainema. Complexity analysis of next-generation HEVC decoder. **2012 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Seoul**, pp. 882-885, 2012.
- D. Corrêa, D. Palomino, L. Agostini and B. Zatt. Energy evaluation of the HEVC decoding for different encoding configurations. **2017 IEEE 8th Latin American Symposium on Circuits & Systems (LASCAS)**, Bariloche, pp. 1-4, 2017.
- C. Herglotz and A. Kaup. Joint optimization of rate, distortion, and decoding energy for HEVC intraframe coding. **2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)**, Phoenix, AZ, pp. 544-548, 2016.