

# ARQUITETURA CONFIGURÁVEL PARA O FILTRO ADAPTATIVO DE LAÇO DO PADRÃO DE COMPRESSÃO DE VÍDEO HEVC

FABIANE REDIESS; BRUNO ZATT; MARCELO PORTO; LUCIANO AGOSTINI

Universidade Federal de Pelotas – PPGC/Mestrado em Ciência da Computação  
Grupo de Arquiteturas e Circuitos Integrados (GACI)  
{fkrediess, zatt, porto, agostini}@inf.ufpel.edu.br

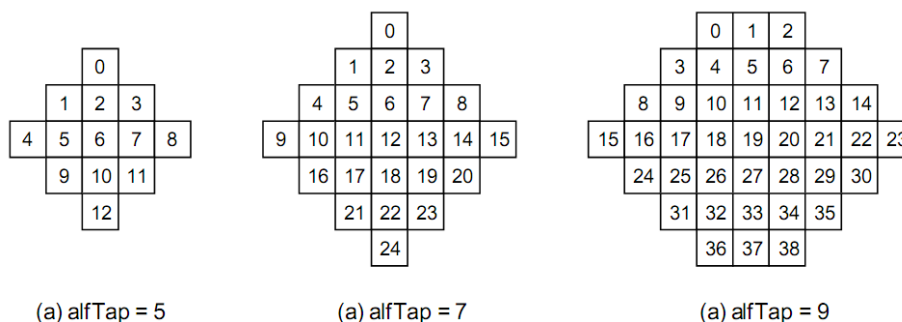
## 1. INTRODUÇÃO

A compressão de vídeo tem sido uma ferramenta imprescindível para o sucesso dos vídeos digitais, pois sem ela sua utilização não seria viável devido à grande quantidade de dados que precisariam ser armazenados e/ou transmitidos. O padrão H.264/AVC (JVT EDITORS 2003), atualmente utilizado em *Blu-rays*, dobrou as taxas de compressão dos padrões anteriores e, por isto, também se tornou quatro vezes mais complexo computacionalmente (RICHARDSON, 2003).

Em função da crescente demanda por resoluções cada vez maiores, foi formado um grupo, o JCT-VC – *Joint Collaborative Team on Video Coding*, composto por especialistas do ITU-T e da ISO/IEC com objetivo de analisar a possibilidade de um novo padrão de compressão de vídeo. Este padrão foi chamado de HEVC – *High Efficiency Video Coding* (ITU, 2013) e foi oficialmente lançado em abril de 2013. Os principais objetivos que embasaram o desenvolvimento do HEVC foram aumentar a taxa de compressão atingida pelo H.264/AVC, mantendo ou até mesmo reduzindo a complexidade computacional.

Como alternativa para melhorar a qualidade subjetiva do vídeo, a qual é deteriorada pelas diversas etapas da compressão, o HEVC propôs inicialmente um Filtro em Laço composto por três filtros: o Filtro Redutor de Efeito de Bloco, ou *Deblocking Filter* – DF, o *Sample Adaptive Offset* – SAO, ou Deslocamento Adaptativo de Amostra e o Filtro Adaptativo de Laço, ou *Adaptive Loop Filter* – ALF. Embora tenha sido removido na versão 8 do *Draft* do HEVC, este não foi removido por ter sido considerado uma ferramenta ineficiente, mas sim por uma opção de redução de complexidade nesta primeira versão do HEVC. Por isso, já foram existirem vários trabalhos propondo a reinserção do ALF em alguma extensão do HEVC.

O foco deste trabalho é o desenvolvimento de uma arquitetura em hardware capaz de implementar qualquer um dos três tamanhos do núcleo do filtro ALF. O núcleo do filtro ALF possui um formato de diamante e possui três tamanhos: 5x5, 7x7 e 9x9, para amostras de luminância (McCANN, 2012), conforme apresentado na Figura 1.



**Figura 1.** Formatos do filtro ALF.

Os coeficientes deste filtro são estatisticamente definidos pelo filtro de Wiener que gera os coeficientes de acordo com a contribuição histórica do

processo de filtragem e é influenciado por características da imagem (WIEGAND et al, 2012).

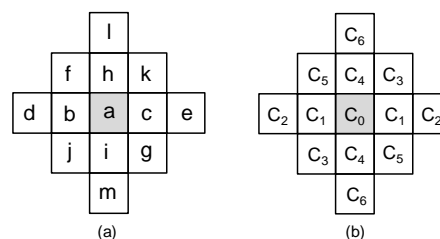
## 2. METODOLOGIA

Este artigo propõe uma arquitetura configurável para o núcleo do filtro ALF do padrão de compressão de vídeo HEVC. Este desenvolvimento baseia-se no *Working Draft 3* (WIEGAND et al, 2012) e no software de referência, o *Test Model HM3* (McCANN, 2012).

Primeiramente, foi investigado o software de referência em conjunto com o texto do *Draft*, a fim de identificar o procedimento de filtragem do ALF. Posteriormente passou-se ao projeto de uma arquitetura em hardware para implementação do filtro ALF. Por fim, passou-se à descrição da arquitetura em linguagem de descrição de hardware VHDL e síntese deste para o dispositivo Cyclone II EP2C70F896C6 da Altera, utilizando a ferramenta Quartus II também da Altera. Com isto, foi possível avaliar os impactos no uso de recursos e no desempenho obtido pela arquitetura projetada.

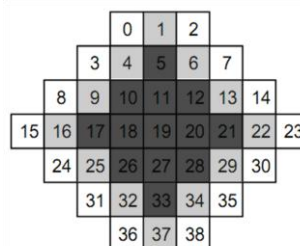
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 são apresentados dois conjuntos de valores para o filtro de tamanho 5x5. Na Figura 2 (a) estão ilustradas as amostras da imagem que serão utilizadas no cálculo da filtragem para a amostra correspondente à posição “a”. Já na Figura 2 (b) estão representados os coeficientes do filtro que serão aplicados à filtragem. Considerando que o filtro é simétrico, é possível reduzir o número de multiplicadores de 13 para 7, fazendo-se primeiramente a soma das amostras que serão multiplicadas pelo mesmo valor de coeficiente do filtro. Por exemplo, faz-se a soma das amostras “l” e “m” para em seguida multiplicar o resultado pelo coeficiente “C<sub>6</sub>”.



**Figura 2.** Filtro 5x5. (a) Amostras da imagem. (b) Coeficientes do filtro.

O filtro ALF prevê três tamanhos de núcleo conforme apresentado na Figura 1. Entretanto, é possível observar que os tamanhos maiores incluem os tamanhos menores. Na Figura 3 consta destacado em cinza escuro o filtro 5x5 dentro do filtro 7x7, o qual está indicado em cinza claro. E ambos encontram-se dentro do filtro 9x9, indicado em branco.

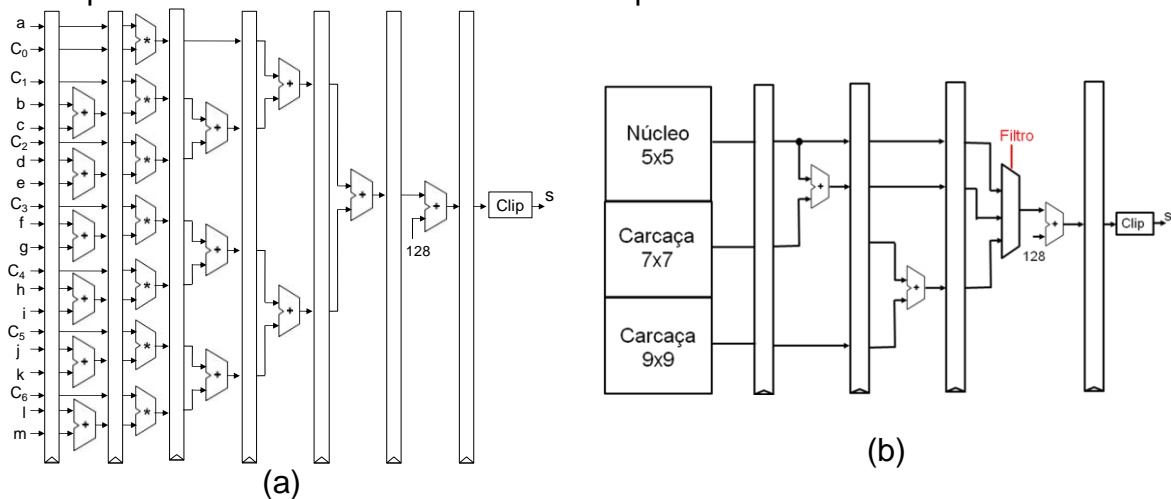


**Figura 3.** Casamento dos três tamanhos de núcleo do ALF.

Considerando estes casamentos entre os três tamanhos de núcleo, é possível aproveitar os componentes de hardware usados para o cálculo de um

filtro menor para completar o cálculo de um filtro maior. Propõe-se então, neste trabalho, uma arquitetura configurável que possa processar qualquer dos tamanhos do filtro, mediante seleção do filtro a ser utilizado em cada momento.

A Figura 4 (a) apresenta a arquitetura do núcleo do ALF de tamanho 5x5, a qual foi desenvolvida com 7 estágios de *pipeline* incluindo os dois estágios finais para normalização do resultado. A Figura 4 (b) apresenta a arquitetura proposta para que os três tamanhos. O bloco indicado como “Núcleo 5x5” corresponde à arquitetura apresentada na Figura 4 (a) sem estágios de normalização do resultado. O bloco chamado de “Carcaça 7x7” corresponde ao cálculo das amostras restantes para que se complete o filtro 7x7, ou seja, as amostras indicadas em cinza claro na Figura 3. De maneira análoga, o bloco “Carcaça 9x9” corresponde às amostras necessárias a completar o filtro 9x9.



**Figura 4.** (a) Arquitetura do núcleo do ALF 5x5. (b) Arquitetura configurável para os três tamanhos do filtro ALF.

As arquiteturas para cada tamanho do filtro, bem como a arquitetura configurável foram sintetizadas para um dispositivo Cyclone II da Altera com o objetivo de avaliar os impactos em uso de recursos de hardware e em desempenho da arquitetura proposta neste trabalho. Os resultados de síntese constam na Tabela 1. A coluna intitulada “Completo” representa uma estimativa de uma arquitetura que englobe os três tamanhos de filtro funcionando de forma independente. Considerando o uso de recursos de hardware, ou seja, elementos lógicos, registradores e multiplicadores embarcados, a arquitetura configurável obteve uma redução significativa no uso destes recursos em comparação à arquitetura completa, sendo que o acréscimo em comparação à arquitetura independente do filtro 9x9 foi bastante reduzido. Como contrapartida, houve uma queda na frequência de operação que, entretanto, não afetou significativamente o desempenho final, conforme o apresentado na Tabela 2.

**Tabela 1.** Resultados de síntese.

	5x5	7x7	9x9	Completo*	Configurável
Elementos Lógicos	356	676	1329	2361	1416
Registradores	604	1148	1784	3536	1868
Multiplicadores Embarcados	14	26	36	76	36
Frequência (MHz)	184	174	100	100	89

A Tabela 2 apresenta um comparativo entre as taxas de processamento em quadros por segundo da arquitetura do filtro 9x9, a qual possui o pior

desempenho entre os três tamanhos independentes e a arquitetura configurável proposta neste trabalho. Tais resultados demonstram que mesmo com a queda na frequência de operação, a arquitetura aqui proposta ainda é capaz de processar 43 quadros *FullHD* por segundo, ou seja, é capaz de manter o processamento em tempo real.

**Tabela 2.** Estimativa de taxa de processamento (quadros por segundo).

Resolução	9x9	Configurável
SDTV (720x480)	289	258
720p – HD (1280x720)	109	97
1080p – <i>FullHD</i> (1920x1080)	48	43

Como trabalho relacionado, apesar de existirem várias propostas para o ALF em software apresentadas nas reuniões do JCT-VC, há poucas implementações em hardware. O trabalho proposto em DU e YU (2011) traz uma implementação em hardware para um filtro ALF, entretanto, a proposta de DU e YU (2011) foca ainda no H.264/AVC, utiliza formato diferente de filtro e propõe uma arquitetura conjugada com o filtro DF, além de não representar uma versão configurável. Tais diferenças tornam injusta uma comparação direta entre os trabalhos.

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a implementação em hardware para uma arquitetura configurável capaz de processar qualquer um dos três tamanhos do núcleo do filtro ALF do padrão de compressão de vídeo HEVC.

Os resultados de síntese mostraram que a arquitetura configurável proposta apresentou um pequeno aumento no uso de recursos de hardware em comparação ao filtro que implementa somente o filtro 9x9 e uma redução expressiva no uso desses recursos em comparação à arquitetura completa. Como consequência houve uma pequena queda na frequência de operação que, entretanto, não prejudicou o desempenho final, pois a arquitetura ainda é capaz de processar 43 quadros *FullHD* por segundo, ou seja, mantendo o processamento em tempo real.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DU, J.; YU, L. A parallel and area-efficient architecture for deblocking filter and Adaptive Loop Filter. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, (ISCAS), Rio de Janeiro, 945-948, 2011.
- International Telecommunications Union (ITU), "High efficiency video coding," ITU-T Recommendation H. 265, 2013.
- JVT EDITORS (T. Wiegand, G. Sullivan, A. Luthra), Draft ITU-T Recommendation and final draft international standard of joint video specification (ITU-T Rec.H.264|ISO/IEC 14496-10 AVC), 2003.
- McCANN, K. et al. HM3: High Efficiency Video Coding (HEVC) Test Model 3 Encoder Description. JCTVC-E602. JCT-VC Meeting. Genebra. 2012.
- RICHARDSON, I. H.264/AVC and MPEG-4 Video Compression – Video Coding for Next-Generation Multimedia. Chichester: John Wiley and Sons, 2003.
- WIEGAND, T. et al. WD3: Working Draft 3 of High Efficiency Video Coding. JCTVC-J0307. JCT-VC Meeting. Genebra. 2012.