

# Avaliando o Paralelismo de *Stream* com Pthreads, OpenMP e SPar em Aplicações de Vídeo

Gabriell A. de Araujo<sup>1</sup>, Renato B. Hoffmann<sup>1</sup>, Junior Loff<sup>1</sup>, Dalvan Griebler<sup>1,2</sup>,  
Luiz Gustavo Fernandes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escola Politécnica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS),  
Porto Alegre – RS – Brasil

<sup>2</sup>Laboratório de Pesquisas Avançadas para Computação em Nuvem (LARCC),  
Faculdade Três de Maio (SETREM), Três de Maio – RS – Brasil

{gabriell.araujo, renato.hoffmann, junior.loff, dalvan.griebler}@acad.pucrs.br,  
luiz.fernandes@pucrs.br

**Resumo.** *Visando estender os estudos de avaliação da SPar, efetuamos uma análise comparativa entre SPar, Pthreads e OpenMP em aplicações de stream. Os resultados revelam que o desempenho do código paralelo gerado pela SPar se equipara com as implementações robustas nas consolidadas bibliotecas Pthreads e OpenMP. Não obstante, também encontramos pontos de possíveis melhorias na SPar.*

## 1. Introdução

Aplicações de *streaming* são caracterizadas por um fluxo contínuo de dados, comumente encontrado em aplicações de *streaming* de vídeo, imagem e áudio. Devido à necessidade da obtenção de resultados com qualidade, o poder computacional exigido tem aumentado. Isto faz com que a intrusão do paralelismo seja necessária para aumentar o desempenho das aplicações. Além disso, o paralelismo nativo pode ser uma atividade complexa. Para tanto, existem ferramentas que auxiliam no desenvolvimento de programas paralelos. Dentre essas ferramentas, podemos destacar a seguir. Pthreads, uma biblioteca na linguagem C que oferece suporte para programação com *threads*. OpenMP, uma biblioteca para memória compartilhada com foco no paralelismo de dados. SPar [Griebler et al. 2017a], uma DSL (Linguagem Específica de Domínio) que oferece abstrações de alto nível para expressar o paralelismo de *stream* através de anotações na linguagem C++.

Este trabalho visa expandir a pesquisa [Griebler et al. 2017b], cujo comparou a SPar com o Thread Building Blocks e FastFlow. Pretende-se agora verificar se a SPar apresenta desempenho similar a implementações manuais e robustas com Pthreads e OpenMP, as quais são bibliotecas consolidadas e amplamente utilizadas pela indústria e academia. Para tal, são paralelizadas duas aplicações reais do domínio de *streaming* e os resultados são comparados. A primeira aplicação, *Detecção de Pistas (DP)* é utilizada para processar os limites de uma rodovia, através das imagens de uma câmera instalada na parte frontal do veículo, e assim controlar carros autônomos. A segunda aplicação, *Reconhecimento Facial (RF)* pode ser utilizada na detecção de indivíduos de interesse (criminosos, desaparecidos e crianças) em multidões. Os trabalhos relacionados que envolvem estas aplicações são poucos. [Mahmood et al. 2015] desenvolveu uma aplicação para detecção de veículos e reconhecimento da face do motorista bem como a paralelizou através da vetorização de instruções e reaproveitamento de cache em arquiteturas *many-core*. Em [Xu et al. 2017], os autores propõem um algoritmo de

detecção de pistas com execução paralela também em arquiteturas *many-core*. O presente trabalho inova através do foco no paralelismo de *stream* e arquitetura alvo, e também contribui com a análise das aplicações *DP* e *RF* com *Pthreads* e *OpenMP*, além da avaliação comparativa destas bibliotecas com a *SPar*. Este artigo está organizado da seguinte forma. Seção 2 discorre sobre as implementações. Seção 3 discute os resultados. Seção 4 apresenta as conclusões.

## 2. Implementação do Paralelismo de Stream

As aplicações *DP* e *RF* possuem padrão de fluxo de dados similar conforme destacado em [Griebler et al. 2017b] e podem ser desmembradas em três estágios. No primeiro, é feita a leitura de um quadro do vídeo de entrada. No segundo, uma sequência de filtros é aplicada sobre o quadro de forma a extrair as informações desejadas. No terceiro, o quadro é escrito em um vídeo de saída. Uma vez que as aplicações apresentam o mesmo comportamento, foi adotada a mesma estratégia de paralelismo em ambas, onde a única diferença reside na função que aplica filtros nos quadros do vídeo. A implementação modela um *pipeline* com três estágios, cuja comunicação entre os estágios é realizada através de filas encadeadas bloqueantes (apenas uma *thread* pode acessar cada fila por vez). A Figura 1 ilustra a estratégia de paralelismo adotada. O estágio *A* é executado por

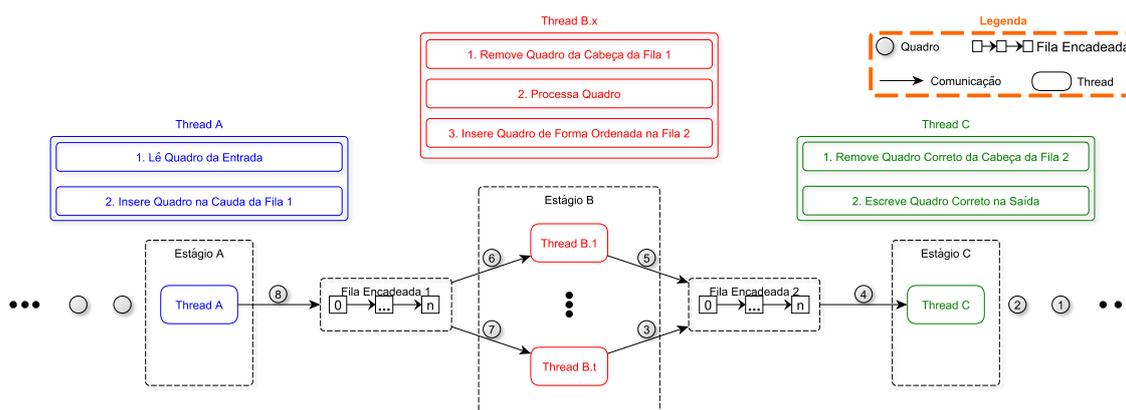


Figura 1. Estratégia de paralelização.

uma única *thread*. A *thread* lê um quadro da entrada. Coloca o quadro no final da fila 1, acessando diretamente o ponteiro da cauda. Envia um sinal para as *threads* do estágio *B*, indicando que existe um novo quadro a ser processado. Estes passos são repetidos até o término da *stream*. O estágio *B* é executado por  $t$  *threads*. Cada *thread* dorme até receber um sinal do estágio *A*. Ao receber um sinal, indicando um novo quadro na fila, a *thread* remove o quadro da cabeça da fila e o processa. Após, insere o quadro de forma ordenada na fila encadeada 2 e envia um sinal para a *thread* do estágio *C*, indicando que o quadro foi processado. Se ainda houver quadros na fila 1, repete o processo, caso contrário, dorme. O estágio *C* também é executado por uma única *thread*. A *thread* dorme até receber um sinal de uma das *threads* do estágio *B*, indicando que um novo quadro foi processado. Ao acordar, a *thread* verifica se o identificador do quadro que está inserido na cabeça da fila 2 é o correto. Se sim, remove o quadro da fila, escreve-o na saída e volta a dormir. Se não, apenas volta a dormir. A atribuição dos identificadores é feita de forma incremental no estágio *A*, portanto, incrementalmente a *thread* *C* sabe qual é o próximo quadro que deve ser escrito na saída.

Adentrando em detalhes específicos de programação. Em Pthreads foram usadas as funções `pthread_mutex_lock` e `pthread_mutex_unlock` para exclusão mútua e as funções `cond_wait` e `cond_signal` para a espera condicional dos estágios B e C. Em OpenMP foi mantida estrutura de código similar a Pthreads. No entanto, buscou-se usar ao máximo todas as rotinas da biblioteca OpenMP. Utilizou-se a diretiva `#pragma omp parallel` para a criação das *threads*. Através da função `omp_get_thread_num` as *threads* são identificadas e após distribuídas entre os estágios. A exclusão mútua foi implementada com `omp_set_lock` e `omp_set_unlock`, e para programar a espera condicional, utilizando essas duas funções básicas, foram implementadas funções equivalentes a `cond_wait` e `cond_signal` da biblioteca Pthreads. Além disso, foi atribuído o valor `PASSIVE` na variável de ambiente `OMP_WAIT_POLICY`, cujo faz as *threads* dormirem ao serem bloqueadas. Isso é relevante pelo motivo de que dependendo do ambiente ou compilador o comportamento padrão é esperada ocupada, o que pode degradar o desempenho. Em relação a detalhes da implementação com SPAR, estes podem ser conferidos em [Griebler et al. 2017b].

### 3. Resultados

Esta seção apresenta e descreve os resultados e experimentos realizados. A máquina utilizada possui dois processadores Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2620 v3 2.40GHz e 24GB de memória RAM. Os vídeos de entrada são no formato MPEG4 com 5,5 e 14 MB de tamanho respectivamente para DP e RF. Os valores dos gráficos foram gerados a partir da média aritmética de 10 execuções e os desvios padrões também plotados através de *error-bars*, os quais foram insignificantes. Na Figura 2 são apresentados os tempos de execução das implementações. Pode-se notar que em ambas aplicações todas as interfaces de programação paralela atingiram até em torno de onze de aceleração (*speed-up*) em relação ao código sequencial (na Figura 2, grau de paralelismo zero). Isso é um resultado satisfatório levando em conta que a arquitetura dispõe de 12 núcleos físicos de processamento. No entanto, nota-se que as implementações Pthreads e OpenMP se comportam de maneira mais estável do que SPAR. Ao utilizar *hyper-threading*, enquanto as implementações Pthreads e OpenMP mantém a mesma margem de desempenho, SPAR apresenta uma queda significativa. Isso é um fator decorrente dos mecanismos, estruturas e escalonamento do código gerado pela SPAR e pode ser alvo de futura melhoria. Em termos de

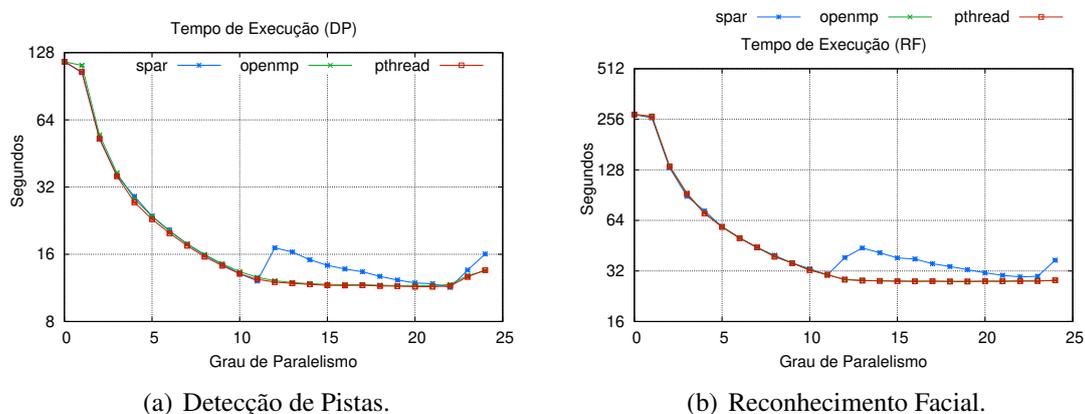


Figura 2. Tempos de execução.

programação, foi necessário um período de duas semanas para estudo e pesquisa sobre

programação e estratégias adequadas ao domínio de *stream* (modelos de programação produtor/consumidor), uma semana programando e estudando com `Pthreads`, uma semana estudando e programando com `OpenMP`, além dos testes, ajustes e correções. Em contraste, as implementações `SPar` levaram não mais que um dia. Além disso, através da ferramenta `sloccount` verificamos que a quantidade de linhas de código da `SPar` ficou apenas 4% maior do que as implementações sequenciais, enquanto `Pthreads` 211% e `OpenMP` 215%. Embora essas bibliotecas de baixo nível de programação possuam equilíbrio no quesito desempenho, o mesmo não aconteceu em termos de programabilidade. Embora existam abstrações do `OpenMP` para o paralelismo de dados, essas não refletem a mesma simplicidade no contexto do paralelismo de *stream*. O programador precisa conhecer técnicas de Sistemas Operacionais como espera condicional e implementá-las manualmente utilizando funções básicas do `OpenMP`. Além disso, o `OpenMP` não oferece descritores para acessos das `threads` e nem funções como envio de sinal *broadcast* a um grupo de `threads`. Em `OpenMP` calcula-se a soma do total de `threads` em cada estágio e então cria-se a quantidade específica de `threads`. Manualmente, o programador define um intervalo de `threads` para cada estágio (as `threads` são identificadas por um número inteiro), e também é necessário implementar *broadcast* manualmente utilizando laços e o intervalo específico de `threads` para cada estágio. Na medida que o número de estágios cresce, esses controles são cada vez mais complexos.

#### 4. Conclusões

Esse trabalho demonstrou que a `SPar` consegue atingir desempenho similar a implementações robustas com bibliotecas consolidadas e de baixo nível de programação. Ainda, destacou-se um ponto de possível melhoria na `SPar` e foi acentuada a diferença do esforço necessário ao paralelizar aplicações de *stream* utilizando `SPar`, `Pthreads` e `OpenMP`. `SPar` é um destaque na programabilidade mesmo quando comparada a `OpenMP`, que embora ofereça recursos que facilitam a programação. Porém, demonstrouse que esta premissa não é a mesma para algoritmos que adentram o domínio de *stream*. A implementação de estratégias eficientes acaba exigindo ainda mais esforço que `Pthreads`. Futuramente, pretende-se efetuar estudos comparativos com outras interfaces de programação paralela e otimizar a geração de código paralelo no compilador da `SPar`, buscando melhorias na estabilidade do desempenho com o uso de *hyper-threading*.

#### Referências

- [Griebler et al. 2017a] Griebler, D., Danelutto, M., Torquati, M., and Fernandes, L. G. (2017a). `SPar`: A DSL for High-Level and Productive Stream Parallelism. *Parallel Processing Letters*, 27(01):1740005.
- [Griebler et al. 2017b] Griebler, D., Hoffmann, R. B., Danelutto, M., and Fernandes, L. G. (2017b). Higher-Level Parallelism Abstractions for Video Applications with `SPar`. In *Parallel Computing is Everywhere, Proceedings of the International Conference on Parallel Computing*, ParCo'17, pages 698–707, Bologna, Italy. IOS Press.
- [Mahmood et al. 2015] Mahmood, Z., Khan, M. U. S., Jawad, M., Khan, S. U., and Yang, L. T. (2015). A parallel framework for object detection and recognition for secure vehicle parking. In *2015 IEEE 17th International Conference on High Performance Computing and Communications*, pages 892–895.
- [Xu et al. 2017] Xu, Y., Fang, B., Wu, X., and Yang, W. (2017). Research and implementation of parallel lane detection algorithm based on gpu. In *2017 International Conference on Security, Pattern Analysis, and Cybernetics (SPAC)*, pages 351–355.