

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação



Emitido em 13/03/2024 às 13:45

	Projeto de Pesquisa	
Dados do Projeto Pesquisa		
Código:	PIC00361-2023	
Titulo do Projeto:	Programação Paralela de um Modelo Computacional da Eletrofisilogia Cardíaca	
Tipo do Projeto:	INTERNO (Projeto Novo)	
Natureza do Projeto:	Projeto de Desenvolvimento Científico e Tecnológico	
Tipo de Pesquisa:	Pesquisa Aplicada	
Situação do Projeto:	EM EXECUÇÃO	
Unidade de Lotação do Coordenador:	DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO E MECÂNICA - LP (11.61.05)	
Unidade de Execução:	DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO E MECÂNICA - LP (11.61.05)	
Centro:	CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS (11.00)	
Palavra-Chave:	Programação Paralela, Modelagem Computacional, Eletrofisiologia Cardíaca	
E-mail:	gtvmontes@cefetmg.br	
Edital:	EDITAL DPPG № 81/2023 - PIBIC FAPEMIG	
Cota:	PIBIC FAPEMIG 2024-2025 (01/02/2024 a 28/02/2025)	
Objetivos de Desenvolvimento Sustentável		
3	Saúde e Bem-Estar	
4	Educação de Qualidade	
Área de Conhecimento, Grupo e Linha de Pesquisa		
Área de Conhecimento:	Linguagens de Programação	
Grupo de Pesquisa:	Não possui vínculo com grupo de pesquisa.	
Linha de Pesquisa:	Modelagem Computacional da Eletrofisiologia Cardíaca	
Comitê de Ética		
N° do Protocolo:	Não possui protocolo de pesquisa em Comitê de Ética.	

Resumo

Este projeto tem como objetivo aprimorar a eficiência computacional de modelos de eletrofisiologia cardíaca, fundamentais para compreender os intricados processos elétricos que governam a atividade do coração. A implementação de técnicas avançadas de programação paralela, notadamente utilizando tecnologias como OpenMP, MPI e CUDA, destaca-se como a abordagem central para mitigar os desafios associados aos tempos prolongados de simulação. Os modelos computacionais de eletrofisiologia cardíaca, embora essenciais para pesquisa biomédica, frequentemente enfrentam limitações práticas devido à sua complexidade computacional. A utilização estratégica de programação paralela visa superar essas limitações, possibilitando simulações mais rápidas e eficientes. Ao identificar e otimizar regiões críticas do modelo, busca-se maximizar o potencial de paralelismo, melhorando assim a eficácia do processo de simulação. O desenvolvimento da versão paralela incluirá a aplicação de técnicas específicas, como OpenMP para paralelismo a nível de CPU e/ou CUDA para implementação do paralelismo a nível de GPUs. A otimização dos algoritmos contribuirá para a eficácia desses modelos, garantindo não apenas a aceleração do processo, mas também a manutenção da precisão e consistência dos resultados em comparação com a versão sequencial. Ademais, o projeto contempla a análise de desempenho, utilizando métricas como tempo de execução e escalabilidade, para validar os benefícios da programação paralela.

Ao término, é esperada a publicação dos resultados por meio de relatórios técnicos, artigos científicos e apresentações em eventos acadêmicos, contribuindo para o avanço do conhecimento na interseção entre eletrofisiologia cardíaca e programação paralela.

Introdução/Justificativa

(incluindo os benefícios esperados no processo ensino-aprendizagem e o retorno para os cursos e para os professores da CEFET-MG em geral)

A eletrofisiologia cardíaca, intrinsecamente ligada à compreensão dos processos elétricos que compõem a atividade cardíaca, representa uma área de estudo crucial para a pesquisa biomédica e a prática clínica. Os modelos computacionais desse fenômeno desempenham um papel importante ao permitir simulações que transcendem as limitações da experimentação laboratorial. No entanto, a complexidade computacional desses modelos frequentemente resulta em tempos de execução prolongados, uma barreira para sua eficiência. O presente projeto propõe uma solução pontual para essa limitação, utilizando técnicas avançadas de programação paralela em um modelo da eletrofisiologia cardíaca presente na literatura. A aplicação de abordagens com tecnologias OpenMP, MPI ou CUDA tem como objetivo otimizar a execução do modelo a fim de possibilitar ainda mais tipos de estudos e simulações. Para além da contribuição científica e tecnológica, espera-se que, com este projeto em proposta, os alunos envolvidos tenham a oportunidade de desenvolver habilidades avançadas em programação, mais especificamente em tecnologias de programação paralela, uma competência cada vez mais necessá frente o avanço na escalabilidade da capacidade dos processadores. Isso contribuirá para a formação científica, técnica e profissional dos estudantes. Considerando os cursos da insituição e, em especial o curso de Engenharia de Computação do campus Leopoldina, este projeto, por envolver modelagem computacional da eletrofisiologia cardíaca - área que exige conhecimentos avançados tanto da biologia do órgão cardíaco, como toda a física e matemática que descrevem esta biologia - se apresenta como uma ótima oportunidade para materializar a natureza multidisciplinar da atuação de um Engenheiro de forma geral. Essa mesma natureza multidisciplinar é um dos principais impactos positivos na atuação dos professores da instituição pois é um forte elemento catalizador à colaboração interdisciplinar.

Objetivos

O presente projeto tem como objetivo principal otimizar a execução de um modelo computacional da eletrofisiologia cardíaca, por meio da implementação de técnicas avançadas de programação paralela, com ênfase nas tecnologias OpenMP ou CUDA. Para atingir esse objetivo geral, desdobram-se os seguintes objetivos específicos:

- otimização de Algoritmos: refinar e otimizar os algoritmos existentes no modelo, adaptando-os para melhor aproveitar as capacidades de paralelismo oferecidas pelas tecnologias selecionadas;
 identificação de Regiões Críticas: analisar o modelo computacional para identificar e caracterizar as regiões críticas que se beneficiarão
- identificação de Regiões Críticas: analisar o modelo computacional para identificar e caracterizar as regiões críticas que se beneficiarão significativamente da implementação de programação paralela;
- implementação de Programação Paralela: desenvolver uma versão paralela do modelo da eletrofisiologia cardíaca, utilizando técnicas de programação paralela, incluindo OpenMP para paralelismo a nível de CPU ou CUDA para computação em GPU;
- avaliação de Desempenho: medir o desempenho da implementação paralela em comparação com a versão sequencial, utilizando métricas como tempo

de execução, escalabilidade e utilização eficiente dos recursos computacionais.

Metodologia

O método científico a ser seguido neste projeto pode ser dividido em várias etapas, abrangendo desde o estudo de referências bibliográficas (incluindo as associadas ao modelo a ser utilizado) até a análise dos resultados obtidos. Aqui está um esboço geral do método científico para o projeto:

- revisão Bibliográfica: realizar uma révisão da literatura relacionada com os temas pertinentes a esse projeto como modelos existentes de eletrofisiologia cardíaca, técnicas de programação paralela e trabalhos relacionados. Essa revisão servirá como base para a capacitação do estudante para a execução do projeto;

o identificação e Otimização de Regiões Críticas: analisar o modelo para identificar as regiões críticas que se beneficiarão mais da programação paralela. Refinar e otimizar os algoritmos nessas regiões, adaptando-os para melhor aproveitar o paralelismo;

· implementação da Programação Paralela a nível de CPU: desenvolver a versão paralela do modelo, utilizando técnicas de paralelização a nível de CPU com a biblioteca OpenMP. Durante essa fase, é crucial documentar cada etapa do processo de implementação;

- implementação da Programação Paralela a nível de GPU: desenvolver a versão paralela do modelo, utilizando técnicas de paralelização a nível de GPU com a biblioteca CUDA. Durante essa fase, é crucial documentar cada etapa do processo de implementação. (a execução desta etapa é condicionada ao acesso a equipamentos com tencologia NVIDIA);

- testes e Validação: realizar testes extensivos para validar a precisão e consistência da versão paralela em comparação com a versão sequencial. Isso inclui a comparação de resultados e a verificação da estabilidade do modelo otimizado;

avaliação de Desempenho: medir o desempenho da implementação paralela através de métricas como tempo de execução, escalabilidade e utilização eficienté dos recursos computacionais. Comparar esses resultados com a versão sequencial para avaliar a eficácia da otimização;

· análise e Interpretação dos Resultados: analisar os resultados obtidos, comparando a versão paralela com a sequencial. Interpretar as descobertas à luz das hipóteses iniciais e das expectativas estabelecidas; e

- disseminação de Resultados: disseminar os resultados por meio de relatórios técnicos, artigos científicos em conferências especializadas e apresentações em eventos acadêmicos. Compartilhar conhecimento com a comunidade científica

Referências

- Czech, Z. (2017). References. In Introduction to Parallel Computing (pp. 323-342). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781316795835.011
- DEAKIN, Tom; MATTSON, Timothy G. Programming Your GPU with OpenMP: Performance Portability for GPUs. MIT Press, 2023.

- FARBER, Rob. CUDA application design and development. Elsevier, 2011.
 GARLAND, Michael et al. Parallel computing experiences with CUDA. IEEE micro, v. 28, n. 4, p. 13-27, 2008.
 TEN TUSSCHER, Kirsten HWJ et al. A model for human ventricular tissue. American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology, v. 286, n. 4,
- p. H1573-H1589, 2004.
 TEN TUSSCHER, Kirsten HWJ; PANFILOV, Alexander V. Cell model for efficient simulation of wave propagation in human ventricular tissue under normal and pathological conditions. Physics in Medicine & Biology, v. 51, n. 23, p. 6141, 2006.

 - NELSON, Mark; RINZEL, John. The hodgkin-huxley model. The book of genesis, p. 29-49, 1995.

- LEI, Chon Lok et al. Considering discrepancy when calibrating a mechanistic electrophysiology model. Philosophical Transactions of the Royal Society A, v. 378, n. 2173, p. 20190349, 2020.
- NOVAES, Gustavo Montes et al. Combining polynomial chaos expansions and genetic algorithm for the coupling of electrophysiological models. In: International Conference on Computational Science. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 116-129.
 NOVAES, Gustavo Montes et al. An ensemble of parameters from a robust Markov-based model reproduces L-type calcium currents from different human

cardiac myocytes. Plos one, v. 17, n. 4, p. e0266233, 2022

Membros do Projeto

CPF	Nome	Categoria	CH Dedicada	Tipo de Participação
087.909.486-96	GUSTAVO MONTES NOVAES	DOCENTE	Não informada	Coordenador(a)
106.832.996-38	MATHEUS AVILA MOREIRA DE PAULA	DOCENTE	Não informada	Coordenador(a) Adjunto(a)

2024											
Atividades	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA											
IDENTIFICAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE REGIÕES CRÍTICAS											
IMPLEMENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO PARALELA - CPU											
TESTES E VALIDAÇÃO - CPU											
IMPLEMENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO PARALELA - CUDA ETAPA A DEPÉNDER DO ACESSO Á TECNOLOGIA NVIDEA											
TESTES E VALIDAÇÃO - GPU											
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO											
ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS											
DOCUMENTAÇÃO											

2025

		2020
Atividades	Jan	Fev
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA		
IDENTIFICAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE REGIÕES CRÍTICAS		
IMPLEMENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO PARALELA - CPU		
TESTES E VALIDAÇÃO - CPU		
IMPLEMENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO PARALELA - CUDA ETAPA A DEPENDER DO ACESSO Á TECNOLOGIA NVIDEA		
TESTES E VALIDAÇÃO - GPU		
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO		
ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS		
DOCUMENTAÇÃO		

A	liaaãa <i>a</i>		D:	-4-
Ava	liacões	s ao	Proi	eto

Situação/Parecer	Data da Avaliação	Média		
AVALIAÇÃO REALIZADA	04/12/2023	25.0		
Projeto claro, bem escrito, bem fundamentado e de alto mérito e relevância.				

Histórico do Projeto

Data	Situação	Usuário
10/11/2023	CADASTRO EM ANDAMENTO	GUSTAVO MONTES NOVAES / 08790948696
13/11/2023	SUBMETIDO	GUSTAVO MONTES NOVAES / 08790948696

16/11/2023	DISTRIBUÍDO PARA AVALIAÇÃO (AUTOMATICAMENTE)	CARLOS MAGNO MARTINS COSME / 07412041770
19/12/2023	APROVADO	CARLOS MAGNO MARTINS COSME / 07412041770
02/02/2024	EM EXECUÇÃO	GUSTAVO MONTES NOVAES / 08790948696