

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL · IFCE · 30 DE NOVEMBRO DE 2025

Deep Learning Models for Real -World Detection of Electrode Interchange in 12-Lead ECGs: A Telecardiology Validation

Por Isac Alves, Gabriela Paixão, Paulo Gomes, Jéssyca Almeida Bessa, Antonio Ribeiro e Jermana Moraes

Fonte: OpenAlex · IFCE · [Publicação original](#)

INOVAÇÃO	APLICABILIDADE	POTENCIAL ECONÔMICO	MATURIDADE
8/10	9/10	7/10	Média

O paper apresenta uma solução de deep learning para detecção automática de trocas de eletrodos em ECG de 12 derivações, problema recorrente que compromete a precisão diagnóstica e aumenta custos. O modelo CNN+RNN demonstrou alta eficiência (≥ 0.96 em casos principais) e baixo uso computacional, com potencial de transformar fluxos de telecardiologia no Brasil.

NÚCLEO DA ANÁLISE

Ideia de startup ou produto

Plataforma 'ECGShield' oferecendo detecção automática de trocas de eletrodos como serviço SaaS para hospitais e laboratórios, com cobrança por volume de ECGs processados ou assinatura mensal.

Aplicações práticas

Sistema de detecção integrável a equipamentos ECG existentes, alertando em tempo real sobre trocas de eletrodos, reduzindo erros diagnósticos e evitando custos associados a reexames.

Potencial de mercado

Mercado de saúde brasileiro com demanda crescente por soluções de telecardiologia e redução de custos. Potencial para adoção por redes hospitalares, clínicas e convênios médicos, estimado em centenas de milhões de reano segmento.

FUNDAMENTO CIENTÍFICO

Problema abordado

Trocas de eletrodos durante aquisição de ECGs, que comprometem a precisão diagnóstica, geram custos adicionais para pacientes e sistema de saúde, e exigem recursos para reexames e correção manual.

Metodologia

Investigação de combinações de arquiteturas de deep learning (CNN, RNN, BiLSTM, BiGRU) treinadas e avaliadas em um banco de dados de 22.886 ECGs desbalanceados, representativo de cenário real de telecardiologia brasileira.

Principais descobertas

Modelo CNN+RNN apresentou desempenho consistente com métricas ≥ 0.96 para detecção de trocas RA-LA/RA-LL e >0.86 para inversões precordiais, além de ser o mais eficiente computacionalmente entre os testados.

LEITURA PARA GESTÃO PÚBLICA

Inclusão do sistema em políticas públicas de saúde telemedicina do SUS como ferramenta de qualidade assistencial, com potencial de padronização em estados e municípios.

PARCERIA UNIVERSIDADE × EMPRESA

Parceria estratégica entre IFCE, fabricantes de equipamentos ECG (como Philips, GE Healthcare) e operadoras de saúde para integração da tecnologia em produtos comerciais e programas de telemedicina.

OPORTUNIDADES DERIVADAS

4 direções estratégicas identificadas

STARTUP · IMPACTO ALTO · HEALTHTECH

ECGShield: Detecção Inteligente de Trocas de Eletrodos

Startup que desenvolve e comercializa sistema de IA para detecção automática de trocas de eletrodos em ECG, integrável a plataformas existentes de telecardiologia.

PARCERIA · IMPACTO MÉDIO · HEALTHTECH

Consortio Saúde Digital IFCE-Empresas

Parceria entre IFCE e empresas de saúde para implementação e validação da tecnologia em ambiente real, acelerando adoção comercial.

POLÍTICA PÚBLICA · IMPACTO ALTO · GOVTECH

Programa Qualificação em Telecardiologia com IA

Política pública de incentivo à adoção da tecnologia em unidades básicas de saúde para melhorar qualidade diagnóstica e reduzir custos.

Solução Integrada ECG com Detecção Inteligente

Desenvolvimento de um produto para fabricantes de equipamentos médicos já estabelecidos, incorporando a tecnologia em novos modelos.

ABSTRACT ORIGINAL

Electrode interchanges during 12-lead electrocardiogram (ECG) signal acquisition is a recurring problem, capable of compromising diagnostic accuracy and generating additional costs for both the patient and the healthcare system. The automatic detection of these interchanges is essential to support clinical decision-making and improve outcomes in cardiovascular care. In this work, different combinations of deep learning architectures are investigated for the automatic detection of clinically relevant electrode interchanges, RA-LA, RA-LL, V1-V6, V2-V5 and complete precordial electrode interchanges. The models explored in this work are Convolutional Neural Networks (CNN), Recurrent Neural Networks (RNN), Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) and Bidirectional Gated Recurrent Unit (BiGRU). The training and evaluation of the models were performed with a database composed of 22,886 ECGs, unbalanced and representative of a real telecardiology scenario in Brazil. In general, the model based on the CNN+RNN presented consistent performance in all classes. For the ECG without interchange and RA-LA, RA-LL, the model achieved metrics with values greater than or to 0.96, while for inversions in the precordial electrodes, the metrics were greater than 0.86. Furthermore, the CNN+RNN model exhibited the lowest number of parameters and memory usage among the evaluated architectures, highlighting its computational efficiency. The results demonstrate the feasibility and effectiveness of using deep learning techniques in the automated detection of electrode interchanges. The incorporation of the proposed models in cardiology services brings direct benefits to the entire workflow of the health system.

MATÉRIA PARA LEIGOS

Para leigos: Inteligência artificial ajuda a detectar erros em exames de ECG no Brasil

O cenário atual

Exames de eletrocardiograma (ECG) de 12 derivações são essenciais para avaliar a saúde do coração. No entanto, um problema comum ocorre quando os eletrodos são trocados ou posicionados incorretamente durante a execução do exame. Essas trocas de eletrodos podem levar a diagnósticos errados, gerando consequências graves para os pacientes e custos adicionais para o sistema de saúde. No Brasil, onde a telecardiologia é amplamente utilizada, especialmente em regiões com menor acesso a especialistas, esse problema se torna ainda mais crítico.

O que os pesquisadores fizeram

Pesquisadores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) desenvolveram um sistema de inteligência artificial capaz de detectar automaticamente quando os eletrodos do ECG estão trocados. Eles testaram diferentes combinações de arquiteturas de deep learning, incluindo redes neurais convolucionais (CNN), redes neurais recorrentes (RNN), redes de memória de curto prazo bidirecional (BiLSTM) e unidades recorrentes portais bidirecionais (BiGRU).

Para treinar e avaliar os modelos, os pesquisadores utilizaram um banco de dados com 22.886 ECGs que representam um cenário real de telecardiologia no Brasil. Esse conjunto de dados é desbalanceado, refletindo melhor a diversidade de situações encontradas na prática clínica.

Como funciona na prática

Quando um paciente realiza um ECG, sensores chamados eletrodos são colocados em diferentes pontos do corpo para capturar os sinais elétricos do coração. Às vezes, esses eletrodos são trocados acidentalmente, resultando em um exame que pode enganar os médicos.

O sistema desenvolvido pelos pesquisadores funciona como um "olho digital" que analisa o ECG em busca de padrões que indicam trocas de eletrodos. Entre os tipos de trocas detectadas estão: RA-LA, RA-LL, trocas entre os eletrodos precordiais V1-V6 e V2-V5, e inversões completas dos eletrodos precordiais.

O modelo que se destacou foi a combinação de CNN+RNN, que não apenas detectou eficientemente as trocas de eletrodos, mas também se mostrou computacionalmente eficiente, exigindo menos recursos de memória e processamento em comparação com outros modelos testados.

Resultados e evidência

Os resultados mostraram que o modelo CNN+RNN apresentou desempenho consistente em todas as classes de troca de eletrodos analisadas. Para ECGs sem troca e para as trocas RA-LA e RA-LL, as métricas de desempenho foram superiores a 0.96. Para inversões nos eletrodos precordiais, as métricas ficaram acima de 0.86, indicando uma alta capacidade de detecção.

Além da alta acurácia, o modelo CNN+RNN se destacou pela sua eficiência computacional, apresentando o menor número de parâmetros e o menor uso de memória entre todas as arquiteturas testadas. Isso é importante para a implementação prática do sistema, especialmente em ambientes com recursos computacionais limitados.

Implicações práticas

A incorporação desse sistema de detecção automática de trocas de eletrodos em serviços de cardiologia pode trazer benefícios diretos para todo o fluxo de trabalho do sistema de saúde. Com a detecção rápida e precisa desses erros, é possível evitar diagnósticos incorretos, reduzir custos com repetição de exames e melhorar a qualidade do atendimento aos pacientes.

Na prática, isso significa que um hospital ou clínica poderia integrar essa tecnologia em seu sistema de telecardiologia, garantindo que os ECGs analisados tenham um mínimo de erro na colocação dos eletrodos, aumentando a confiança nos resultados e potencialmente salvando vidas por meio de diagnósticos mais precisos.

Limitações e próximos passos

O estudo foi realizado com base em um conjunto de dados específico de telecardiologia no Brasil, o que pode limitar a generalização dos resultados para outros contextos clínicos ou populacionais. Além disso, o paper não detalha como o sistema se comportaria em situações extremas ou raras de troca de eletrodos.

Os próximos passos podem incluir a validação do sistema em diferentes cenários clínicos, a integração direta com equipamentos de ECG para detecção em tempo real, e o desenvolvimento de protocolos de correção automática que possam sugerir a reconfiguração correta dos eletrodos quando trocas forem detectadas.

QUEM SÃO OS PESQUISADORES

Quem são os pesquisadores

Os autores do estudo são pesquisadores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), incluindo Isac Alves, Gabriela Paixão, Paulo Gomes, Jéssyca Almeida Bessa, Antonio Ribeiro e Jermana Moraes. O paper não detalha informações específicas sobre a afiliação dos autores dentro do IFCE, nem suas trajetórias acadêmicas ou formações específicas. O grupo parece ter focado em aplicar diferentes arquiteturas de redes neurais profundas para resolver um problema prático na área de cardiologia, com ênfase na validação de

modelos em cenários de telecardiologia do Brasil.

PALAVRAS-CHAVE

Deep learning · Workflow · Precordial examination · Convolutional neural network · Artificial neural network · Recurrent neural network · Pattern recognition (psychology)