

Analiza EKG za pomocą nowych metod wykorzystujących algorytmy sztucznej inteligencji

Streszczenie

Elektrokardiogramy (EKG) sygnały fizjologiczne rejestrowane w sposób nieinwazyjny, które okazały się praktyczne w diagnostyce klinicznej do oceny stanu serca. Sygnały te mogą być analizowane przez komputer, co wspiera diagnozę. W ostatnich latach znacznie wzrosła liczba zastosowań algorytmów sztucznej inteligencji, w szczególności rozwój modeli głębokiego uczenia (DL) pozwolił uzyskać wysoką jakość analiz automatycznych, co sprawiło, że takie metody zaczęły być szeroko stosowane do diagnostyki opartej na analizie sygnału EKG. Niniejsza rozprawa przedstawia serię publikacji powiązanych tematycznie omawiających wsparcie diagnostyki bazującej na sygnale EKG przez systemy wykorzystujące głębokie uczenie. W pracy jest położony nacisk na wstępne przetwarzanie sygnału EKG i udoskonalanie architektury modelu sieci neuronowej spłotowej (CNN).

Pierwszy rozdział opisuje właściwości sygnałów EKG omawiane z różnych perspektyw, w tym baz danych zawierających dane wzorcowe oraz aspekty związane z rejestrowaniem sygnału za pomocą urządzeń mobilnych, w celu promowania telemedycyny. Opisano tam techniki wstępnego przetwarzania danych, które pozwalają poprawnie budować modele przy niedostatecznej ilości danych. Omówiono istniejące metody znane z literatury, a także zakres dokładności klasyfikacji diagnostycznej EKG. Rozdział ten pokazuje obszary, które stanowią wyzwanie badawcze, obszary te wyznaczały kierunki badań opisane w poszczególnych publikacjach.

W drugim rozdziale omawiam analizę czasowo-częstotliwościową sygnałów EKG, zaproponowałem uproszczony czterowarstwowy model CNN w klasyfikacji binarnej. Redukcja szumu, filtrowanie częstotliwości i reprezentacja spektrogramu w porównaniu z sygnałami surowymi są oceniane na modelu CNN. Badany jest również wpływ licznych współczynników uczenia i częstotliwości próbkowania, ułatwiający wybór niezawodnych parametrów.

W kolejnym rozdziale pokazany jest nowy algorytm powiększania (augmentacji) danych, który pozwala poprawnie budować modele w przypadkach dysponowania zbiorem o małej objętości, albo zbiorem słabo zrównoważonym. Pokazana nowa metoda pozwala na generowanie nowych próbek za pomocą segmentacji i ponownego porządkowania. Zadbano o wydajność czasową i pamięciową rozwiązania jednocześnie uzyskując dobrze zróżnicowane rozszerzone sygnały w treningu modelu DL. Udoskonalona wersja opisanego w rozdziale algorytmu, uwzględniająca wykrycia pików typu R przed segmentacją, jest również wykorzystywana do generowania realistycznych rozszerzonych danych. Przedstawiona praca wykorzystwała model CNN do klasyfikacji binarnej i wielo-klasowej.

W czwartym rozdziale opisuję metody do konwersji 12-odprowadzeniowego klinicznego

EKG na jednodowodzeniowy EKG (SL-ECG), aby poradzić sobie z niedoborem danych SL-ECG. Przedstawione metody eliminują rozbieżności, w tym inną częstotliwość próbkowania, amplitudę i okres między danymi pochodzącymi ze standardowego sprzętu, a urządzeniami mobilnymi. Proponowane podejście jest zintegrowane z modelem CNN w klasyfikowaniu choroby migotania przedsionków i ułatwia efektywne trenowanie modelu DL oraz jego walidację.

W kolejnym rozdziale pokazuje nowy algorytm wykrywania odchyłań P-QRS-T w sygnałach EKG, który umożliwia przekształcenie niestrukturyzowanych danych sygnałowych w formę strukturalną, co pozwala na dalszą poprawę jakości systemów diagnostycznych. Planuje budowę nowych modeli uczenia maszynowego, zwłaszcza wykorzystujących duże modele językowe (LLM), do wzbogacania danych.

Przedstawione w pracy nowe metody osiągnęły konkurencyjną wydajność w klasyfikacji diagnostycznej EKG, charakteryzując się lepszą wydajnością, zwłaszcza w przetwarzaniu wstępnym.

Omówienie przedstawionych koncepcji i porównanie ich ze stanem literatury światowej wymagało analizy ponad 200 istniejących publikacji naukowych, w tym artykułów i książek. W trakcie studiów miało miejsce kilkaset dyskusji z promotorami, które pozwoliły opracować prototypowe oprogramowanie, przeprowadzenie eksperymentów numerycznych, analizę wniosków i opracowanie artykułów, które zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych. Proponowane metody i wytworzone oprogramowanie zostało rygorystycznie ocenione przy użyciu rzeczywistych danych udostępnionych przez firmę AliveCor i zestawu walidacyjnego China Physiological Signal Challenge dostępnego w publicznym repozytorium. Autor prezentował niektóre metody wraz z wynikami na seminariach i konferencjach międzynarodowych.

Słowa kluczowe: Elektrokardiogram; Automatyczna diagnostyka medyczna; Sztuczna inteligencja; Głębokie uczenie; Wzbogacanie danych; Spektrogramy; Urządzenie mobilne; Diagnostyka kliniczna;