

ЕСТИМАЦИЈА НИВОА СТРЕСА ЧОВЕКА ПРИМЕНОМ МЕТОДА МАШИНСКОГ УЧЕЊА**ESTIMATION OF STRESS LEVEL IN HUMANS USING MACHINE LEARNING METHODS**

Дуња Павловић; Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – БИОМЕДИЦИНСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

Кратак садржај – Овим радом представљен је концепт примене метода машинског учења у циљу естимације нивоа стреса човека. Стрес као одговор организма на промене окружења манифестује се променом различитих физиолошких параметара. Ови биомаркери коришћени су као улази у модел машинског учења који је на свом излазу предвиђао ниво стреса према дефинисаним класним лабелама.

Кључне речи: Стрес, ниво стреса, машинско учење

Abstract – This thesis presents the concept of applying machine learning methods to estimate human stress levels. Stress, as a response of the organism to environmental changes, manifests itself through changes in various physiological parameters. These biomarkers were used as inputs in a machine learning model, which predicted the stress level based on defined class labels.

Keywords: Stress, stress level, machine learning

1. УВОД

Стрес представља неизоставни део живота савременог човека. Он углавном има негативне последице на здравље. Према подацима Светске здравствене организације, током последњих деценија дошло је до наглог пораста социјалних и медицинских проблема повезаних са стресом, који озбиљно утичу на ментално и физичко здравље одраслих, али и младих и деце. Разумевање стреса, због тога, постаје кључно за клиничка истраживања и здравствену заштиту у циљу спречавања потенцијалних штетних ефеката [1].

Појам стреса у литератури дефинисан је на различите начине. Међутим, најједноставнију и најбољу физиолошку дефиницију стреса дао је Ханс Сеље. По Сељеу, стрес представља неспецифичан одговор организма на захтев, при чему су ови захтеви познати као стресори, а промене у телу изазване тим захтевима одговор на стрес [2].

Услед изложености стресору организам покушава да поврати своје нормално стање и заштити се од потенцијалне штете. За потребе описа биолошких од-

говора на стрес Сеље је развио концепт „општерг синдрома адаптације“. Он је уочио да се одговор на стресор састоји из три фазе: (i) фаза аларма, (ii) фаза адаптације и (iii) фаза исцрпљености. Фаза аларма подразумева иницијално нагло повећања пажње према стимулусу. Активацијом симпатичког нервног система и хипоталамусно-хипофизно-надбубрежне осе од стране мозга организам се припрема за учешће у реакцији борбе и бекства, повећањем срчане фреквенције и фреквенције дисања, отпуштањем глукозе и хранљивих материја из крви како би се снабдели ангажовани мишићи, сужењем крвних судова екстремитета и другим реакцијама. Пошто ови неурофизиолошки одговори не могу да се одрже неограничено, организам улази у фазу исцрпљености. Међутим, даља истраживања су показала да се одговори заиста прекидају, али се претварају у одржано побуђено стање које штети организму, описано ако алоустатско оптерећење [2].

Како стрес представља саставни део живота и његов утицај може да доведе до различитих менталних и физиолошких поремећаја и болести, проналазак генерализованог система за естимацију нивоа стреса човека у свакодневном животу био би од великог значаја. Модел естимације би омогућио праћење стања пацијената, спречио развој болести и открио патолошка стања у раним фазама [1].

2. ФИЗИОЛОГИЈА СТРЕСА

Стресну реакцију посредује сложена интеракција нервних, ендокриних и имунолошких механизма, који активирају симпатичко-адрено-медуларну (SAM) осу, хипоталамусно-хипофизно-адреналну (HPA) осу и имуни систем. Стресна реакција је адаптивна и припрема тело да се носи са променама унутрашњих или спољашњих фактора окружења. Међутим, уколико је излагање стресору интензивно, понавља се или је дуготрајно, стресна реакција постаје неадаптивна и штетна по физиологију. Излагање хроничним стресорима може проузроковати неадаптивне реакције, укључујући депресију, анксиозност, когнитивна оштећења и срчана обољења [3].

Како је утицај стреса широко распрострањен дефинисан је појам алоустазе, као објашњења настанка стресне реакције организма. Алоустаза заправо представља способност организма да одржава

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији је ментор био проф. др Никола Јорговановић, ред. проф.

физиолошку стабилност променом параметара свог унутрашњег окружења прилагођавајући их потребама окружења. Алостаза је специфична по томе што подразумева да након повлачења стресора не долази нужно до враћања организма у стање које одговара почетном [4].

2.1. Одговор на стрес

Појам алостазе може се најјасније представити посматрањем регулације срчаног ритма као одговора на стрес. Срчани рад регулисан је од стране аутономног нервног система, тачније његовог парасимпатичког и симпатичког дела, који делују на синоатриални (SA) чвор. Тачније, присутан је парасимпатички базални тон, који утиче на SA чвор кроз дејство вагусног нерва. Када се јави стресор долази до активације симпатичког нервног система и инхибиције парасимпатичког нервног система како би се остварио потребни пораст срчаног ритма. Симпатички и парасимпатички нервни систем су под контролом централног аутономног нервног система лоцираног у мозгу. Када се јави стресор, на пример, пад крвног притиска услед губитка крви, барорецептори у луку аорте и каротидним синусима шаљу узлазне сигнале централној аутономној мрежи у мозгу. Ово доводи до инхибиције вагусног нерва преко ГАБАергичких неурона и ослобађања парасимпатичког базалног утицаја на SA чвор, што омогућава повећања срчаног ритма и самим тим минутног волумена срца [4].

Централна аутономна мрежа је сама по себи под регулацијом више регија у мозгу, што значи да је на највишем нивоу мозак одговоран за одговор на стрес. Поједностављено, као што постоји тонска инхибиција SA чвора од стране парасимпатичког нервног система, у мозгу постоји тонска инхибиција амигдале од стране префронталног кортекса. Остале мождане регије укључене у овај процес су премоторни кортекс, фронтални режањ, хипоталамус, темпорални режањ и цингуларни гирус. Амигдала континуално процењује претње и регулише доживљај страха, али префронтални кортекс тонски инхибише овај процес спречавајући постојање сталног одговора на стрес. Перцепција стресора доводи до отпуштања ове тонусне инхибиције, што омогућава активацију одговора на стрес путем хипоталамично-хипофизно-адреналне осе и аутономног нервног система. Као што је већ речено, ово доводи до отклањања вагусне инхибиције SA чвора и тиме повећања срчаног ритма. У овом случају алостаза подразумева повећање срчаног ритма као одговор на стресор, али такође и опоравак срчаног ритма након отклањања стресора [4].

2.2. Алостатско оптерећење

Алостатско оптерећење описује хабање тела услед стреса и неефикасне алостазе. За разлику од алостазе, код алостатског оптерећења не долази до нормалног повратка на базну линију након уклањања стресора. Према моделу који је успоставио МикЕвен, постоје четири главна начина на која алостатска стања одступају од здравих одговора. Први је у ситуацији

поновљених удараца. Ако неко више пута доживи исти стресор у кратком периоду, нема довољно времена да се организам навикне на поновљени стресор. Други начин, који је проширење првог, је недостатак адаптације. Не само да особа није у стању да се навикне на поновљене стресоре, већ са сваким ударцем постаје мање ефикасна и мање способна да одговори на стресор на адекватан начин. Трећи начин развоја алостатског оптерећења је када постоји продужен одговор на стресор без опоравка након уклањања стресора. И на крају, четврти начин је кроз развој неадекватног одговора, односно када се нормалан физиолошки одговор на стрес уопште не покрене. Алостатско оптерећење према томе подразумева постојање или неадекватног одговора на стрес или неадекватног опоравка након одговора на стрес [4].

2.3. Мерење одговора на стрес

Стрес генерално погађа све системе у телу, укључујући кардиоваскуларни, респираторни, ендокрини, гастроинтестинални, нервни, мишићни и репродуктивни систем. Стрес узрокује повећање срчаног ритма, јаче контракције срчаног мишића, проширење срца и прераспodelу крви у велике мишиће. Изазива промене у обрасцима дисања због сужења дисајних путева, што доводи до кратког даха и плитког, убрзаног дисања. Такође, доводи до одложеног пражњење желуца и смањене покретљивост црева, као и смањења имунолошког одговора. Спрам овога, као биомаркери стреса могу се посматрати: крвни притисак и срчани ритам; варијабилност срчаног ритма; електроенцефалографски сигнали који описују мождану активност; електродермална активност у виду проводљивости коже; телесна температура; биохемијски маркери и слично [3].

3. ЕСТИМАЦИЈА НИВОА СТРЕСА

Естимација нивоа стреса човека врши се применом неког од алгоритама машинског учења. Проблем естимације нивоа стреса је класификациони проблем и за његово решавање претежно се користе алгоритми класификације, међутим регресиони алгоритми су такође показали добре резултате за овај тип проблема. Алгоритми класификације и регресије спадају у групу алгоритама надгледаног учења. Код алгоритама надгледаног учења за сваки узорак из скупа за обуку алгоритма дата је и тачна излазна лабела. Излазна лабела у посматраном проблему представља скалу стреса, односно нивое стреса који се разматрају. Подаци о излазним вредностима користе се у обуци алгоритма који ће за неки нови необележени узорак предвидети вредност излаза. Резултат обуке је модел класификације на основу којег се утврђује класна припадност за узорке за које она није позната [5].

Креирање модела машинског учења за естимацију нивоа стреса подразумева два основна корака: (i) издвајање обележја и (ii) класификацију. Подаци доступни у разматраној бази података се анализирају у циљу идентификације параметара који ће на једнозначан начин да опишу припадност узорака једној

од класа. Овакви параметри користе се као обележја, односно улази у модел машинског учења. За овај конкретан проблем као обележја погодно је изабрати неки од претходно описаних биомаркера стреса. Поред овога потребно је одабрати алгоритме машинског учења чија успешност за дати проблем ће се испитивати. Након избора обележја и модела машинског учења, врши се подешавање оптималних хиперпараметара модела, како би се креирао што бољи модел за дати проблем. На крају, се креирају финални модели са претходно одређеним оптималним вредностима хиперпараметара, а њихове перформансе тестирају се у циљу проналаска генерализованог модела естимације нивоа стреса човека.

3.1 База података

База података креирана је мерењем биомаркера стреса код 11 субјеката приликом извођења проширеног протокола за шумске ватрогасце на високој температури. Протокол се састојао из три фазе физичког напора. Прва фаза подразумевала је два периода константног физичког напора, са и без оптерећења у трајању од 20 минута и паузом од 10 минута између. Друга фаза је фаза физичког напора променљивог интензитета где су субјекти излагани трима нивоима интензитета: (i) средњи (*moderate*), (ii) низак (*low*) и (iii) висок (*high*). Прво је примењен физички напор средњег интензитета у трајању од 7 минута, затим низак ниво интензитета од 15 минута и на крају висок ниво интензитета 3 минута, такође у два наврата. Последња, трећа фаза максималног физичког напора трајала је 10 минута у току које су испитаници излагани постепено све већем физичком напору. Између сваке фазе направљена је пауза од 15 минута.

Током целог периода теста континуално су мерени подаци са сензора срчаног ритма и сензора телесне температуре постављених на грудни кош субјекта. За сваког субјекта на крају експеримента добијени су следећи подаци: телесна температура (енгл. *Core Temperature*, TCore): мерена сваки минут; температура коже грудног коша (енгл. *Chest Skin Temperature*, TChest): мерена сваки минут; срчани ритам (енгл. *Heart Rate*, HR): мерен сваки секунд и RR интервали: мерени сваки секунд.

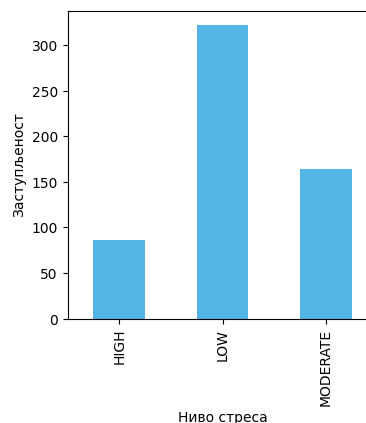
Од целокупне базе података прикупљене овим експериментом, од интереса за овај рад биле су само вредности података прикупљене у току друге фазе експеримента, односно фазе физичког напора променљивог интензитета. Према томе, скала нивоа стреса коришћена у овом раду је: LOW тј. низак ниво стреса; MODERATE тј. средњи ниво стреса и HIGH тј. висок ниво стреса.

3.2 Избор обележја

Следећи корак у креирању естиматора ниво стреса био је одабир обележја која ће се користити за потребе класификације. На основу расположивих података као обележја коришћени су: Телесна температура (TCore); Температура коже грудног коша (TChest); Срчани ритам (HR) и Варијабилност срчаног ритма (енгл. *Heart Rate Variability*, HRV). Међутим,

фреквенције одабирања приликом мерења нису биле исте за сваки мерени податак. Како су температуре мерене сваки минут, а подаци везани за срчану активност сваки секунд, било је потребно свести све податке на исту учестаност узорковања. На овај начин је обезбеђено постојање истог броја узорака за свако обележје. Одлучено је да ће узорци бити вредности обележја посматране сваки минут мерења и томе су адекватно прилагођене. Телесна и температура коже грудног коша преузете су као такве из базе. За вредност срчаног ритма узета је заправо средња вредност у једном минуту мерења. Варијабилност срчаног ритма добијена је рачунањем корена средње вредности узастопних разлика RR интервала током једног минута мерења.

На овај начин, креиран је финални скуп узорака који је даље коришћен за креирање естиматора нивоа стреса човека. Матрица обележја је димензија 572x5. Сваки узорак описан је с четири обележја, па је вектор обележја димензија 1x4. Сваки узорак припада једном нивоу стреса, односно класи, па је на основу тога вектор класе тј. излазна лабела димензија 572x1.



Слика 1. Заступљеност нивоа стреса у финалном скупу узорака.

Додатно, у финалном скупу узорака најзаступљенији су узорци који описују класу LOW, њих 322, затим узорци класе MODERATE, 164 узорака, а најмање заступљених узорака је у класи HIGH са 86 узорака, што је приказано сликом 1. Такође, спрам велике разлике у опсезима вредности обележја одлучено је да ће обука модела бити вршена са и без претходне стандардизације обележја.

3.3 Одабир модела машинског учења

Одабир модела машинског учења који су се разматрани у овом раду вршен је на основу резултата добијених у другим истраживањима која су се бавила сличним проблемима. Као ефикасни за решавање овог типа проблема, у литератури, показали су се модели: вештачке неуралне мреже, машине на бази вектора носача и класификатора и регресора случајне шуме.

3.4 Одређивање оптималних вредности хиперпараметара

За потребе селекције модела и естимације перформанси расположиви скуп узорака подељен је на три дисјунктна скупа: (i) скуп за обуку, (ii) скуп за

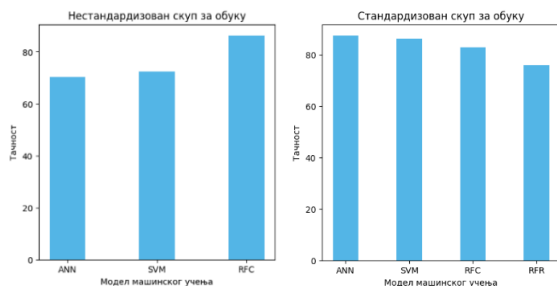
валидацију и (iii) скуп за тестирање. Скуп за обуку је скуп узорака који се користи за формирање модела. Скуп за валидацију представља скуп узорака који се користи за подешавање хиперпараметара модела, а скуп за тестирање је скуп узорака који се користи само за процену перформанси одабраног модела [5]. Помоћу *HoldOut* метода целокупан скуп узорака подељен је на скуп за обуку и скуп за тестирање, тако да 10% на случај изабраних узорака креира тест скуп. Скуп за обуку чинило је 514 узорака, док се скуп за тестирање састојао од 58 узорака. За потребе селекције модела коришћен је *GridSearchCV* алгоритам доступан у *Python* програмском језику. На основу мреже могућих вредности хиперпараметара применом унакрсне валидације са 10 партиције на целокупан скуп за обуку, за сваку комбинацију параметара, као оптималне, одабране су оне вредности за које је модел на скупу за валидацију дао највећу тачност.

3.5 Креирање коначних модела машинског учења

Коначни модели машинског учења обучени су са претходно одређеним оптималним вредностима хиперпараметара на целокупном скупу за обуку. Перформансе модела тестиране су над издвојеним тест скупом при чему је као мера успешности класификатора посматрана тачност, као удео исправно класификованих узорака у целој популацији [5].

4. ЗАКЉУЧАК

Овај мастер рад има за циљ генерисање модела машинског учења који ће на генерализован начин естимирати ниво стреса човека. На нестандардизованом скупу обележја као најбољи показао се класификатор случајне шуме са тачношћу од 86.21%. Међутим, модел неуронске мреже и машина на бази вектора носача показали су солидне резултате (слика 2 лево). Уколико посматрамо резултате добијене са стандардизованим скупом за обуку, приказане сликом 2 десно, модел вештачке неуронске мреже показао се као најуспешнији у класификацији нивоа стреса, тачност 87.36%. Мало нижу вредност тачности, али такође веома погодну, пружају машина на бази вектора носача, али и класификатор случајне шуме. Иако је у литератури регресор случајне шуме дао одличне резултате, за разматрану базу података показао се као најлошији естиматор.



Слика 2: Приказ најбољег модела машинског учења за нестандардизовани и стандардизовани скуп за обуку

Разматрањем свих добијених резултата може се закључити да се за ову врсту проблема као најгенерализованији показао класификатор случајне шуме. Овај модел остварио је врло добре резултате и за нестандардизоване и стандардизоване вредности обележја, за разлику од других модела чије су перформансе варирале у значајном опсегу. Захваљујући једноставности употребе, робустности према небалансираним скуповима података, као и способности да се одупре натприлагођењу овај класификатор надмашио је остале моделе.

Стрес, као неизбежан аспект живота, иако опсежно истражен, представља једну од главних тема бројних истраживања. Разумевање дејства стреса на људски организам доприноси његовом бржем препознавању и спречавању његовог негативног утицаја. Овај рад је управо дао потврду значаја и доприноса истраживања појма стреса и његовог утицаја на човека.

5. LITERATURA

- [1] Arza A, Garzón-Rey JM, Lázaro J, Gil E, Lopez-Anton R, de la Camara C, Laguna P, Bailon R, Aguiló J, „*Measuring acute stress response through physiological signals: towards a quantitative assessment of stress*“. Med Biol Eng Comput. 2019 Jan;57(1):271-287. doi: 10.1007/s11517-018-1879-z. Epub 2018 Aug 9. PMID: 30094756.
- [2] Hellhammer, D. H., Stone, A. A., Hellhammer, J., & Broderick, J. (2010). „*Measuring stress*“, In Encyclopedia of Behavioral, Neuroscience (Vol. 2, pp. 186–191). Elsevier Ltd.
- [3] Chu B, Marwaha K, Sanvictores T, Awosika AO, Ayers D. „*Physiology, Stress Reaction*“, 2024 May 7. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan–. PMID: 31082164.
- [4] Cool, Joséphine & Zappetti, Dana. (2019). „*The Physiology of Stress*“, 10.1007/978-3-030-16558-1_1
- [5] Т. Носек, Б. Бркљач, Д. Деспотовић, М. Сечујски, Т. Лончар-Турукало, „*Практикум из машинског учења*“, 1. изд, Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, 2020, ISBN: 978-86-499-0245-9.

Кратка биографија:



Дуња Павловић рођена је у Новом Саду 1999. године. Основне академске студије из области биомедицинског инжењерства на Факултету техничких наука у Новом Саду завршила је 2022. године.

контакт: dunjapav99@gmail.com