

Rozpoznávání skrytých informací k určení intencionální lži pomocí elektroencefalografie

Ing. Martina Žabčíková, Ph.D.

Teze disertační práce



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Teze disertační práce

Rozpoznávání skrytých informací k určení intencionální lži pomocí elektroencefalografie

Detecting Concealed Information to Identify Intentional Deception Using Electroencephalography

Autor: **Ing. Martina Žabčíková, Ph.D.**

Studijní program: P3902 Inženýrská informatika

Studijní obor: 3902V023 Inženýrská informatika

Školitel: prof. Mgr. Roman Jašek, Ph.D., DBA

Oponenti: doc. RNDr. Martin Kotyrba, Ph.D.
prof. Ing. Zuzana Komínková Oplatková, Ph.D.
doc. MUDr. Michal Filip, Ph.D., MBA

Zlín, říjen 2024

© Martina Žabčíková

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Doctoral Thesis Summary**.
Publikace byla vydána v roce 2024.

Klíčová slova: elektroencefalografie, EEG, detektor lži, skryté informace, intencionální lež, ERP, P300, CIT, DWT, SVM, GA.

Key words: electroencephalography, EEG, lie detector, concealed information, intentional lie, ERP, P300, CIT, DWT, SVM, GA.

Plná verze disertační práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ISBN 978-80-7678-293-8

ABSTRAKT

Rozpoznávání skrytých informací za účelem odhalení intencionální lži představuje klíčovou výzvu v oblasti bezpečnosti. Současné detektory lži jsou nákladné, nepohodlné a náchylné k manipulaci. Detektory lži založené na elektroencefalografii (EEG) se staly populárnějšími oproti polygrafům, jelikož nabízejí vyšší odolnost vůči vědomému ovlivnění. Hlavním cílem této disertační práce je vyvinout systém pro rychlou a efektivní detekci intencionální lži pomocí analýzy EEG signálů získaných nízkonákladovým zařízením, s využitím pokročilých metod strojového učení a výběru vlastností. EEG signály byly snímány během vizuálního experimentu, který zkoumá neurofyzilogické změny při pokusu o lhaní prostřednictvím analýzy Event-Related Potential (ERP) komponenty P300. Následně byly analyzovány rozdíly v průběhu vln P300 účastníků v reakcích na vizuální podněty známých a neznámých tváří pomocí genetického algoritmu (GA) pro výběr vlastností a algoritmu Support Vector Machine (SVM) pro klasifikaci. Tento přístup dosáhl vysoké přesnosti klasifikace, což potvrzuje jeho účinnost a spolehlivost při rozpoznávání skrytých informací. Navržený systém je uživatelsky přívětivý a vhodný i pro uživatele bez hlubších odborných znalostí, což umožňuje snadnou implementaci s možností efektivního využití v akademických i praktických scénářích. Nízké náklady na zařízení a zjednodušení procesu detekce lži pomocí EEG naznačují potenciál pro širší využití, včetně forenzních a bezpečnostních oblastí.

ABSTRACT

Detecting concealed information to identify intentional deception represents a key challenge in security. Current lie detectors are expensive, uncomfortable, and susceptible to manipulation. Lie detectors based on electroencephalography (EEG) have become more popular than polygraphs, as they offer higher resistance to conscious influence. The primary aim of this dissertation is to develop a system for high-quality lie detection using the analysis of EEG signals obtained from a low-cost device, employing advanced machine learning methods and feature selection techniques. EEG signals were recorded during a visual experiment that examines neurophysiological changes during attempts to lie by analyzing Event-Related Potential (ERP) component P300. Differences in the P300 waveforms of participants' responses to visual stimuli of familiar and unfamiliar faces were then analyzed using a Genetic Algorithm (GA) for feature selection and a Support Vector Machine (SVM) for classification. This approach achieved high classification accuracy, confirming its effectiveness and reliability in detecting concealed information. The proposed system is user-friendly and suitable even for users without deep expertise, facilitating easy implementation with the possibility for effective use in both academic and practical scenarios. The low cost of the device and the simplification of the lie detection process using EEG indicate the potential for broader applications, including forensic and security fields.

OBSAH

ÚVOD.....	6
1. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	7
1.1 Úvod do problematiky	7
1.2 Zhodnocení současného stavu detekce lži pomocí EEG	7
2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	9
3. TEORETICKÝ RÁMEC	10
3.1 Mozek a jeho funkce.....	10
3.2 Elektroencefalografie.....	10
3.2.1 Event-Related Potential	11
3.2.2 P300 komponenta	11
3.3 Detekce lži	12
3.3.1 Konvenční detektory lži.....	12
3.3.2 EEG detektory lži.....	13
3.4 Concealed Information Test	13
3.5 Použité zařízení pro snímání EEG signálů	14
4. METODIKA VÝZKUMU.....	14
5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	15
5.1 Získávání dat (Experiment)	15
5.1.1 Příprava experimentu.....	16
5.1.2 Experimentální scénář.....	16
5.1.3 Snímání dat	16
5.2 Předzpracování dat.....	17
5.3 Extrakce vlastností.....	18
5.3.1 Discrete Wavelet Transform.....	18
5.4 Výběr vlastností	19
5.4.1 Genetický algoritmus.....	20

5.5 Klasifikace.....	21
5.5.1 Porovnání metod pro klasifikaci EEG dat	21
5.5.2 Gaussian Support Vector Machine	23
5.5.3 Postup klasifikace dat a tvorba modelu	23
5.5.4 Vyhodnocení modelu	25
5.6 Srovnání se stávajícími studii	26
6. VÝVOJ APLIKACE PRO DETEKCI LŽI.....	27
6.1 Popis hlavních funkcí aplikace	28
6.2 Distribuce aplikace pro detekci lži pomocí EEG.....	29
7. VÝSLEDKY	29
8. VYHODNOCENÍ CÍLŮ PRÁCE	31
9. PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI.....	32
ZÁVĚR	34
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	35
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	38
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	38
PUBLIKAČNÍ AKTIVITY AUTORA	39
ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA	41

ÚVOD

S rostoucí mírou kriminality a podvodů se identifikace lži stává klíčovou oblastí výzkumu. V současnosti se k detekci lži nejčastěji používá polygraf, avšak jeho přesnost a spolehlivost jsou omezené kvůli možnosti vědomé kontroly fyziologických reakcí subjektem. Tato práce se zaměřuje na rozpoznávání skrytých informací pro detekci intencionální lži pomocí neinvazivní metody elektroencefalografie (EEG). EEG umožňuje detekovat neurofyziologické signály v mozku, což je klíčové pro odhalení informací relevantních pro rozpoznání podvodů a tím překonává problémy spojené se současnými detektory lži.

V posledních letech je metoda EEG často využívána, zejména v lékařství, kde slouží ke zkoumání mozkových signálů a diagnóze různých poruch a nemocí. Nicméně EEG nachází uplatnění i v jiných oblastech, jako je komunikace, ovládání, zábava či detekce lži. Pro snímání elektrické aktivity mozku bylo využito nízkonákladové bezdrátové zařízení EEG umístěné na povrchu pokožky hlavy. Toto zařízení je levné, přenosné a jednoduché na použití, což je výhodou pro výzkum v různých prostředích.

Cílem této disertační práce je vývoj systému pro rychlou a efektivní detekci lži prostřednictvím analýzy behaviorálních a nervových korelátů klamání s využitím pokročilých metod strojového učení a nízkonákladového zařízení pro snímání EEG signálů. Výzkum se zaměřuje na rozpoznání lži pomocí Event-Related Potential (ERP) komponenty P300, která je aktivována při intencionální lži. Za tímto účelem byl navržen experiment pro identifikaci podvodů s využitím Concealed Information Test (CIT), během kterého byly prezentovány vizuální podněty s cílem vyvolat reakce ERP P300. V rámci zpracování dat EEG byly analyzovány funkční a strukturální změny v jednotlivých mozkových oblastech při reakci na vizuální stimuly známých a neznámých tváří. Výsledné reakce byly klasifikovány do dvou tříd, vinných a nevinných, pomocí různých algoritmů strojového učení s cílem dosáhnout co nejvyšší přesnosti a spolehlivosti při detekci lži.

Tato práce přináší nový přístup k detekci lži s využitím moderních metod a zařízení, které mohou přispět ke zlepšení bezpečnostních opatření a efektivnější detekci podvodů v různých oblastech, přičemž zdůrazňuje potenciál nízkonákladových technologií pro širší využití v praxi. Podrobný popis jednotlivých částí, včetně dalších informací, je rozveden v rámci textu disertační práce. V některých případech, kde neexistují vhodné české překlady metod či algoritmů, jsou použity všeobecně používané anglické termíny.

1. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V současnosti existuje mnoho výzkumných článků a vědeckých prací zabývajících se rozpoznáváním skrytých informací pro detekci lži pomocí elektroencefalografie (EEG), které jsou realizovány vědeckými skupinami po celém světě. Tato kapitola se věnuje důkladné rešerši odborných a vědeckých prací publikovaných v posledních letech, zaměřených na odhalování podvodů s využitím EEG signálů. Byly zde identifikovány použité nástroje, postupy a metody, a následně byly analyzovány pozadí jednotlivých studií.

1.1 Úvod do problematiky

V posledních letech vzrostl zájem vědecké komunity o metody rozpoznávání lži. Tradiční zařízení pro odhalení podvodů, jako je polygraf, měří reakce autonomního nervového systému. Polygraf však nedokáže přesně určit, zda subjekt lže, nebo je pouze ve stresu. Pro lepší rozpoznání lži se vědci zaměřili na zkoumání centrálního nervového systému pomocí různých metod, přičemž EEG je nejčastěji využívanou metodou, a proto byla využita i v této práci [1]. Problematika rozpoznávání lži pomocí EEG se rychle rozvíjí. Výzkumníci vyvíjejí různé metody pro vylepšení klasifikace a přesnější identifikaci lži. EEG signály mohou odhalit mnoho důležitých aspektů myšlení, což z nich činí účinný nástroj pro detekci podvodů. I když se tato myšlenka objevila již před několika lety, stále existuje mnoho možností pro vylepšení [2].

Nedávný výzkum ukázal, že elektrická aktivita mozku může být spolehlivým ukazatelem zpracování informací v mozku pro identifikaci pachatele trestného činu. Tato metoda by mohla být velmi užitečná a ušetřit mnoho času při výsleších svědků a podezřelých, a má velký potenciál v trestních vědách jako nový vyšetřovací nástroj pro propojení důkazů o zločinu s informacemi uloženými v mozku pachatele. EEG má velkou výhodu oproti klasickým vyšetřovacím metodám, protože ji lze použít u každého případu [3].

1.2 Zhodnocení současného stavu detekce lži pomocí EEG

Současný výzkum detekce lži zahrnuje mnoho experimentů a studií zaměřených na zkoumání možností využití EEG k odhalování lži. Výzkumníci zkoumají různé aspekty, provádějí různé testy, používají různé experimentální metody a metody extrakce vlastností, a aplikují různé metody strojového učení pro binární klasifikaci EEG dat na vinné a nevinné. Jedním z hlavních směrů výzkumu je analýza ERP, zejména ERP P300, která se ukázala jako velmi účinná pro rozpoznání lži. Diverzita těchto přístupů nabízí širokou škálu technik a metod pro dosažení co nejpřesnější identifikace podvodu [P.1].

Největší část prací se zaměřuje na zkoumání vizuálních podnětů, zejména rozpoznávání obličejů [4-15]. Byly vytvořeny různé typy experimentů s různými scénáři falešných zločinů, které zahrnovaly obličej oběti, vražednou zbraň, jméno

spolupachatele či ukradený předmět [3]. Kontrolovalo se, zda se subjekt účastnil dané události, nebo zda poznává místo činu či daný předmět. Nejužívanější metodou pro analýzu chování jedince při lhaní je CIT, založený na paradigmatu ERP P300, při němž se zkoumají reakce na jednotlivé stimuly. Přítomnost P300 naznačuje, že subjekt lže. Tuto metodu je obtížnější oklamat ve srovnání s tradičním polygrafem. V souladu s tím byl v tomto výzkumu představen systém detekce lži využívající ERP P300 v rámci přizpůsobeného protokolu CIT v reakci na vizuální podněty. Dále bylo zjištěno, že maximální amplituda složky P300 je v parietálním laloku (Pz). Proto byla v této práci využita elektroda Pz, jelikož je nejvíce informativní pro proces zatajování informací a dosahuje nejvyšší přesnosti [13, 16].

Na základě provedené rešerše lze konstatovat, že nejčastěji využívanou metodou pro analýzu chování jedince při lhaní je CIT založený na ERP P300 při reakci na vizuální stimuly známých a neznámých tváří pomocí EEG s využitím elektrody Pz [P.1, P.8]. Vysoká míra přesnosti některých studií naznačuje významný potenciál v oblasti detekce lži pomocí EEG zaměřené na analýzu ERP P300 při rozpoznávání tváří, avšak stále existuje prostor pro další zlepšení. Většina dosavadních studií využívá drahá a složitá EEG zařízení, což omezuje praktickou aplikaci těchto metod. Existuje potřeba vyvinout a ověřit metody, které jsou použitelné s nízkonákladovými a přenosnými zařízeními, což by umožnilo širší a dostupnější využití v praxi. Stávající metody často vyžadují komplexní a časově náročné procesy předzpracování a analýzy dat. Je nutné vyvinout systémy, které umožní rychlou a jednoduchou detekci lži, použitelnou i osobami bez odborných znalostí [17]. Klasifikační algoritmy dosahují různých úrovní přesnosti v závislosti na použitém datasetu a podmínkách. Je třeba vyvinout robustnější klasifikátory, které budou schopny udržet vysokou přesnost napříč různými experimenty a podmínkami a zároveň budou efektivní v reálném čase. Mnoho studií je prováděno na relativně malých vzorcích subjektů. Je nutné provést výzkum na větších a diverzifikovanějších populacích, aby se zajistila škálovatelnost a praktičnost navrhovaných metod v reálném světě [P.1].

Vzhledem k těmto výzvám byl výzkum zaměřen na vývoj systému pro detekci lži pomocí kombinace nízkonákladového zařízení Emotiv Insight s pokročilými metodami strojového učení a technikami výběru vlastností. Cílem je vyvinout systém pro rychlou, dostupnou, levnou a efektivní detekci intencionální lži pomocí EEG signálů, který bude přístupný i pro osoby bez odborných znalostí v oblasti EEG a neurovědy. Tento výzkum je zásadní pro další rozvoj technologií v oblasti detekce lži, protože jako první efektivně využívá nízkonákladová zařízení a pokročilé techniky strojového učení pro automatickou detekci lži prostřednictvím analýzy ERP P300 při rozpoznávání tváří. Navržený přístup přináší nové možnosti v dostupnosti a praktičnosti detekčních systémů, což může významně zlepšit detekci lži v reálných podmínkách a nabídnout praktická řešení pro aplikace v různých oblastech.

2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Hlavním cílem této disertační práce je vyvinout efektivní systém pro automatickou, rychlou a jednoduchou detekci intencionální lži. Při vývoji systému je kladen důraz na využití nízkonákladového zařízení pro měření EEG signálů v kombinaci s pokročilými metodami strojového učení a sofistikovanými technikami extrakce a výběru vlastností. Navržený přístup může přinést nové možnosti v oblasti informatiky a posílit efektivitu bezpečnostních opatření.

Pro dosažení hlavního cíle bylo nutno dosáhnout následujících dílčích cílů:

- **Vývoj a validace metodiky pro detekci lži pomocí EEG:** Vytvoření a ověření komplexní metodiky pro identifikaci intencionální lži pomocí analýzy EEG signálů.
- **Návrh a realizace vizuálního ERP experimentu:** Realizace experimentu, který měří ERP komponenty P300 získané z EEG signálů při vystavení účastníků vizuálním podnětům známých a neznámých tváří.
- **Analýza dat EEG a volba vhodných kritérií:** Identifikace a aplikace optimálních parametrů a kritérií pro zpracování a analýzu EEG dat zaměřených na detekci lži.
- **Klasifikace dat EEG pomocí strojového učení:** Využití pokročilých metod strojového učení pro dosažení vysoké přesnosti klasifikace EEG dat do dvou tříd (vinných a nevinných).
- **Vývoj uživatelsky přívětivého systému:** Vyvinutí snadno použitelného systému, který umožní rychlou a efektivní detekci lži pomocí nízkonákladového zařízení snímajícího EEG signál.
- **Ověření a validace navrženého systému:** Testování a ověření účinnosti a přesnosti navrženého systému.

Tyto cíle přispějí k rozvoji snadno dostupných a účinných nástrojů pro detekci lži, což má významné aplikace v oblastech jako forenzní věda a bezpečnost.

3. TEORETICKÝ RÁMEC

Tato práce se zabývá průzkumem v oblasti detekce skrytých informací měřených pomocí diagnostické metody EEG, kde se vyhodnocují míry přesnosti binární klasifikace dat na vinné a nevinné při reakci na vizuální podněty.

3.1 Mozek a jeho funkce

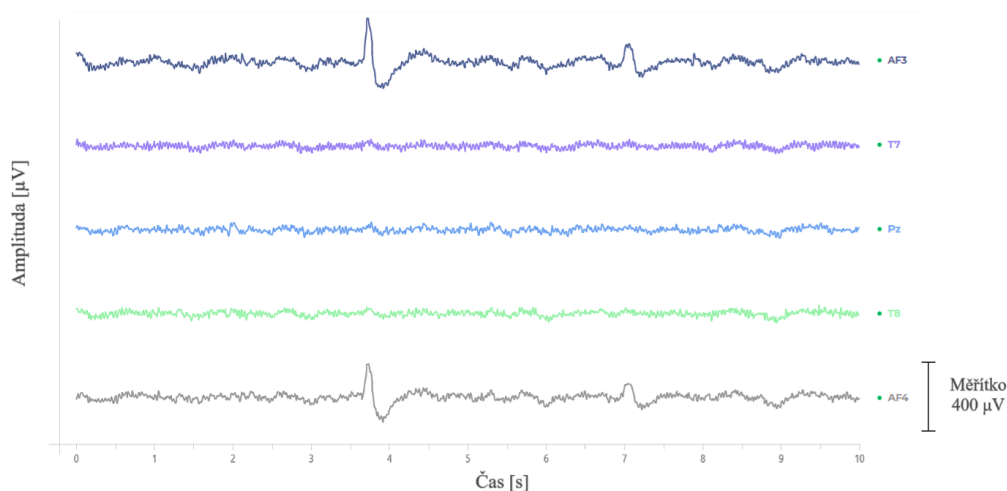
Mozek může být využit jako zdroj důkazů při vyšetřování trestných činů, jelikož je centrálně zapojen do každé lidské činnosti a zaznamenává vše, co člověk dělá. Mozkový signál jako první reaguje na jakékoli smyslové impulzy, což lze použít k identifikaci pravdy a lži. Vědci se domnívají, že by se mozek mohl stát ústředním bodem vyšetřování kriminality, když se propojí záznamy o akcích a myšlenkách uložených v mozku s důkazy o zločinu. Zatímco u některých zločinů mohou chybět fyzické důkazy, mozek lze použít u každého případu [3].

Při reakci mozku na událost či aktivitu vzniká rozdíl v potenciálu, který slouží k přenosu zprávy z jedné synapse do druhé prostřednictvím uvolňování chemické látky. Tento signál je zaznamenáván pomocí speciálních zařízení, ve kterých jsou umístěny registrační elektrody [18]. Rozmístění elektrod se řídí mezinárodním systémem 10-20, což je standardizovaný systém využívající specifikované anatomické orientační body na lebce. Elektrody jsou označeny kombinací písmene a čísla, které určují pozici jejich umístění na lebce [16, 18].

Mozek je rozdělen na dvě hlavní hemisféry, z nichž každá obsahuje jednotlivé laloky. Rozdělení mozku v transverzální rovině je na frontální (F, čelní), centrální (C, střední), parietální (P, temenní), okcipitální (O, týlní) a temporální (T, spánkový) laloky. Mozkové signály poskytují užitečné informace, jelikož umožňují nahlédnout do procesů, které jsou základem lidského chování a reakcí. Pokud subjekt ukrývá nějaké informace, lze je detekovat pomocí mozkových signálů. Elektrická aktivita mozku představuje složitý biosignál, ve kterém jsou uloženy informace o subjektu. K extrakci těchto informací ze složitých biosignálů musí být dodržena určitá metodická pravidla [16, 18].

3.2 Elektroencefalografie

Elektroencefalografie je neinvazivní metoda, která zaznamenává elektrickou aktivitu mozku pomocí elektrod umístěných na pokožce hlavy. EEG zaznamenává neuronální aktivitu ve formě signálů, které se liší v závislosti na činnostech a stavech jednotlivce. Zaměřuje se na mapování těchto mozkových vln a jejich vztahu k různým podnětům a činnostem. Tyto vzory jsou následně rozpoznávány a analyzovány [11]. Pro zaznamenávání specifických aktivit jsou elektrody umístěny na konkrétní místa na hlavě, což generuje EEG vlny s odlišnými charakteristikami [4], viz Obr. 1.



Obr. 1.: EEG signály

EEG signály lze kategorizovat podle frekvenčních pásem [9, 18]. EEG aktivita je definována jako součet frekvencí alfa, beta, gama, delta a théta, které se mění v závislosti na vědomí a stavu jedince. Frekvence rytmů je vyjádřena v cyklech za sekundu (Hz) a potenciál v mikrovoltech (μV) [18]. Studie ukázaly, že různé typy mozkových vln odrážejí různé fyziologické stavy. Snížené alfa vlny a zvýšené beta vlny významně souvisí s pracovní zátěží, přemýšlením a pozorností, přičemž nadměrná beta aktivita naznačuje, že subjekt lže [19, 20]. Některé studie také prokázaly pokles aktivity alfa vln a zvýšenou aktivitu delta, théta a beta vln při působení stresových podnětů [19].

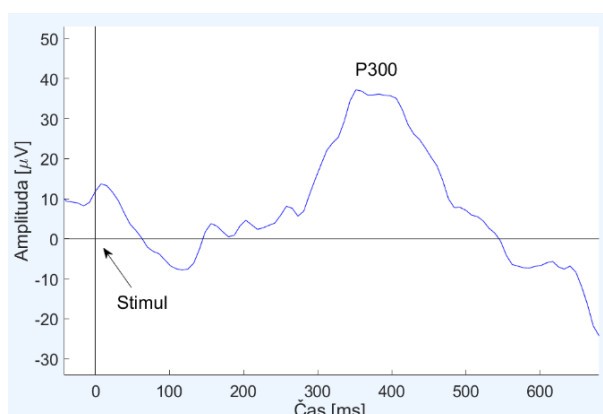
3.2.1 Event-Related Potential

Různé typy mozkových potenciálů jsou generovány v závislosti na typu podnětu. ERP představuje podvědomou psychologickou reakci vznikající v důsledku reflexu generovaného v lidském mozku při rozhodování, vykonávání mentální činnosti, pozorování něčeho známého nebo v reakci na vnější události [10, 21]. ERP analyzuje specifické krátkodobé segmenty dat mozkových vln vyvolaných mozkovou aktivitou zpracovávající informace a zkoumá různé aspekty těchto dat [3]. Při použití ERP byla identifikována aktivace mozku spojená s informacemi o podvodu, což činí ERP vhodným pro detekci skrytých informací. ERP je základní a nejpoužívanější metodou pro zkoumání reakce mozkové aktivity na různé události [22].

3.2.2 P300 komponenta

Vlna P300 je pozitivní komponentou ERP, kterou lze identifikovat jako pozitivní výchylku v EEG signálu s typickou latencí přibližně 300-1000 ms po prezentaci stimulu (viz Obr. 2). Tato odezva je vyvolána v mozku pouze v reakci na vzácné a smysluplné podněty [4, 11]. Pravděpodobnost výskytu stimulu silně ovlivňuje velikost P300. Méně časté a výrazné stimuly v pravidelné sekvenci předvídatelných stimulů vyvolávají větší složky P300. Zkoumáním amplitudy vlny P300 se zjišťuje, zda jednotlivec skrývá nějaké informace [10, 21, 22]. Výsledky výzkumů ukázaly, že podnět sondy vyvolal signifikantně vyšší

amplitudu P300 v parietálním místě Pz ve srovnání s irelevantními podněty u účastníků vinné skupiny, což naznačuje, že subjekt spáchal trestný čin [2]. U nevinné skupiny ERP složka P300 nevykazuje žádný významný rozdíl mezi sondou a irelevantními podněty, což dokazuje, že je subjekt nevinný. Toto klíčové pozorování lze využít k identifikaci lži u jednotlivých jedinců [9]. Detekce skrytých informací založená na analýze komponenty P300 spojené s vnímáním obličeje je jednou z nejúspěšnějších metod využívajících zpracování nervové aktivity zaznamenané EEG signály [2, 13, 23]. Analýza komponenty ERP P300 prokázala, že pachatel je pozorný a vědomý si své viny prostřednictvím delta, alfa a beta vln z parietálního laloku, což potvrzuje účinnost neurálních korelátů viníků během klamání pro detekci lži [24].



Obr. 2.: Odezva P300

3.3 Detekce lži

Schopnost spolehlivě a přesně analyzovat skryté chování pro účely detekce podvodu je v současnosti nezbytná a je používána v oblastech jako psychologie, soudní vědy, neurovědy, bezpečnost, hodnocení důvěryhodnosti, tajné služby, obrana, trestní řízení, boj proti terorismu a odhalování špionáže [2]. Cílem kriminalistické vědy je nejen správná identifikace pachatele, ale také zbavení nevinné osoby od podezření. Z hlediska lidských práv je minimalizace času a traumatu z vyšetřovacích postupů zásadní [3].

3.3.1 Konvenční detektory lži

Vyšetřovací agentury využívají mnoho detekčních technik pro podporu soudního systému [22]. Konvenční detektory lži založené na polygrafu analyzují lidské chování při ústním výslechu pomocí sledování fyziologických ukazatelů jako je zvýšená tepová a dechová frekvence, vodivost kůže či krevní tlak [19]. Tyto nedobrovolné změny při odpovědi subjektu na otázky jsou předmětem analýzy vyšetřovatelů, což může vést k falešně pozitivním či falešně negativním výsledkům [4, 8]. Používané specializované vybavení může být časově a finančně náročné nebo nepohodlné [19, 22]. Spolehlivost a platnost detekce založené na polygrafu je diskutabilní, protože fyziologické reakce mohou být ovlivněny z různých důvodů a mohou být kontrolovány vědomě [22]. Výsledky této

techniky nejsou považovány za dostatečně spolehlivé důkazy v soudním systému kvůli své subjektivitě a nízké přesnosti. K překonání problémů s polygrafickým testem bylo v posledních letech provedeno mnoho výzkumů využívajících neurofyziologické signály pro detekci podvodu [9].

3.3.2 EEG detektory lži

EEG je nejčastěji využívanou technikou pro odhalování skrytých informací prostřednictvím měření neurofyziologických signálů [2]. Lež je komplexní kognitivní psychologický proces, který vyžaduje pozornost a zahrnuje činnosti v různých oblastech mozku zaměřené na utajení podvodů a zločinů [11, 25]. Rozsáhlé důkazy prokázaly velký potenciál EEG jako nástroje pro měření elektrických aktivit mozku prostřednictvím analýzy ERP P300, kde se tato složka výrazně projevuje během klamání [2, 9, 24]. Pravdivost odpovědi subjektu na otázky lze posoudit pozorováním změn mozkových vln, kde pravda a lež vytvářejí významné variace mezi různými frekvenčními pásmy [19, 20]. EEG je přesnější než jiné metody, protože neměří fyziologické indexy, ale přímo mozkovou aktivitu [8]. Neurofyziologické odezvy jsou poté zpracovávány pomocí různých klasifikačních algoritmů nebo metod statistické analýzy k posouzení pravdivosti výpovědi subjektu [19, 25]. Výsledky ukazují, že signály EEG odrážejí kognitivní a pozornostní mechanismy mozku, které jsou při pokusu o klamání spojeny se zvýšenými hodnotami ERP. Tento fakt umožňuje vývoj rychlejšího a objektivnějšího nástroje pro detekci lži ve srovnání s klasickými detektory, které závisí na subjektivní interpretaci [10, 19].

3.4 Concealed Information Test

CIT je jednou z klíčových metod v kognitivní psychologii a odhalování podvodů. Provádí se za účelem analýzy lidského chování při lhaní, aby se zjistilo, zda je daný subjekt vinný či nevinný [2, 8, 10]. Metoda CIT je založena na rozpoznání specifických podnětů, jako je například vražedná zbraň či fotografie oběti [23]. Klasické paradigma pro CIT obsahuje tři kategorie podnětů prezentovaných účastníkům:

- **Sondy:** Vzácné a smysluplné podněty související s trestným činem, známé pouze vinnými účastníky. Generují odpověď P300 [2, 23].
- **Cíle:** Podněty, které nesouvisejí s trestným činem, známé všem subjektům. Jsou používány k zajištění pozornosti subjektu a generují vlnu P300 [11].
- **Irelevantní:** Podněty nesouvisející s trestným činem, negenerují odpověď P300. Počet irrelevantních položek je větší, než počet sond a cílů [23].

Analýza komponenty ERP P300 byla úspěšně přijata jako neurální indikátor pro CIT a používá se pro detekci lži. Princip CIT založený na ERP P300 spočívá v tom, že rozpoznání vzácného a smysluplného podnětu sondy, který je relevantní pouze pro provinilé účastníky, vygeneruje vyšší amplitudu P300 než irrelevantní podněty [2, 10]. Předchozí studie dále prokázaly, že obličeje mohou být efektivně

použity jako podněty v CIT založeném na ERP k implementaci účinného systému pro odhalování lží, jelikož je složka P300 citlivá na skryté rozpoznání obličejů a odolná vůči protiopatřením [13]. Vizualní stimuly známých a neznámých tváří vyvolávají odlišné mozkové reakce a pomáhají tak v identifikaci vinné osoby, například zda podezřelý zná obličej konkrétní osoby [11, 13, P.1].

3.5 Použité zařízení pro snímání EEG signálů

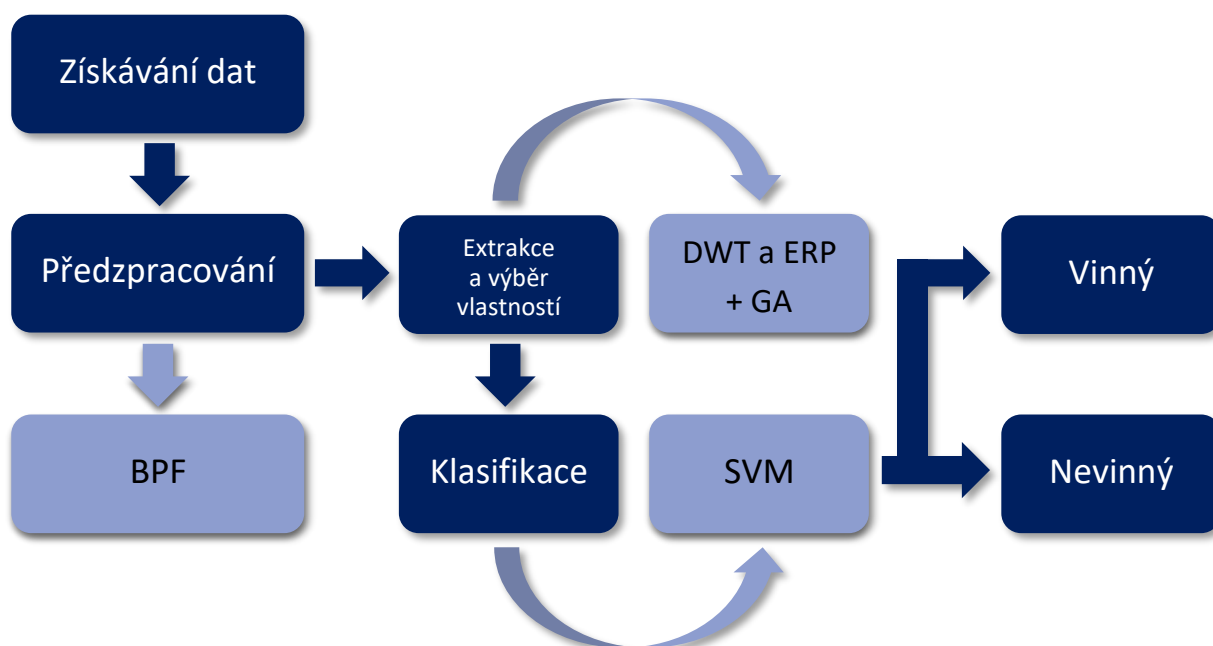
Pro snímání elektrické aktivity mozku bylo využíváno nízkonákladové zařízení Emotiv Insight vyvinuté společností Emotiv Inc. Toto zařízení poskytuje pět EEG registračních elektrod, jmenovitě AF3, AF4, T7, T8 a Pz a dvě referenční elektrody. Náhlavní souprava disponuje senzory z hydrofilního polosuchého polymeru [26]. Zařízení je neinvazivní, mobilní, bezdrátové a nízkonákladové [P.5, P.10, P.12]. Emotiv Insight představuje cenově nejdostupnější variantu pro detekci lži pomocí EEG ve srovnání s jinými EEG zařízeními a tradičními polygrafy, což podporuje cíl této práce využít nízkonákladové zařízení pro detekci lži. Umístění elektrod na pokožce hlavy je podle mezinárodního systému 10-20. Správný výběr kanálů poskytuje lepší výkon, šetří výpočetní čas, zvyšuje efektivitu získávání dat a může zvýšit přesnost klasifikace [4]. Kanál Pz poskytuje cenné informace související s detekcí lži a nejlepší výkon v paradigmatu ERP P300 [21]. Pro zpracování dat EEG bylo v této práci využito několik softwarových platforem a nástrojů, konkrétně EmotivPro, Matlab, EEGLAB a ERPLAB.

4. METODIKA VÝZKUMU

Primárním cílem disertační práce je vytvořit nízkonákladový systém pro rychlou a efektivní detekci intencionální lži pomocí EEG signálů s využitím pokročilých metod strojového učení. Tato část práce se zaměřuje na stanovení metodiky pro analýzu EEG dat, zahrnující získávání dat, předzpracování dat, extrakci a výběr vlastností a následnou klasifikaci. Analýza EEG dat je komplexní proces, kde každý krok je nezbytný pro úspěšné zpracování dat a musí být řešen konsekutivně [P.1]. Proto byla pro tuto analýzu navržena přesná metodika.

Nejčastější a nejúspěšnější metodou pro odhalení skrytých informací je komponenta ERP P300, která je generována při výskytu smysluplného podnětu. Tento výzkum byl realizován pomocí měření neurofyziologických změn během experimentu, kde byla zkoumána vlna P300 v reakci na vizualní podněty známých a neznámých tváří. Pro analýzu jsou uvažovány především odezvy mozku subjektů na sondy a irelevantní podněty v parietálním laloku v oblasti Pz, protože tato část mozku je během mentálních úkolů nejaktivnější. Na základě výsledků se poté hodnotí přesnost klasifikace dat do dvou tříd a zjišťuje se, zda rozpoznání vlny P300 dokáže odhalit nepravdivou odpověď s vysokou mírou přesnosti. Rozhodování o vině či nevině bylo prováděno pomocí metod strojového učení, konkrétně SVM s využitím GA pro výběr vlastností z dat Discrete Wavelet Transform (DWT) a ERP. V současné studii je experimentální postup a metodika

zpracování dat navržena tak, aby poskytovala optimální výsledky z hlediska přesnosti s důrazem na efektivní a rychlý systém. Schématický přehled navrhované metodiky pro detekci lži pomocí EEG signálů je znázorněn v typickém blokovém schématu na Obr. 3.



Obr. 3.: Schéma navržené metodiky pro detekci lži pomocí EEG

5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato část podrobně popisuje analýzu dat pro detekci lži pomocí EEG, rozdělenou do několika fází, konkrétně získávání dat, předzpracování dat, extrakce a výběr vlastností a klasifikace dat k odlišení vinných subjektů od nevinných v reakci na vizuální podněty. Výzkum se zaměřuje na detekci skrytých informací z dat získaných od účastníků pomocí komerčně dostupné náhlavní soupravy využívající signály EEG k vyhodnocení účinnosti a přesnosti rozpoznávání lži. Výsledky této práce byly porovnány se stávajícími studii založenými na ERP odpovědi s cílem zhodnotit přesnost, vhodnost a použitelnost navrženého systému využívajícího nízkonákladové zařízení EEG pro detekci lži.

5.1 Získávání dat (Experiment)

Jedním z cílů této práce je ověřit, zda skryté informace vyvolané vizuálními stimuly mohou odhalit lež s vysokou mírou přesnosti pomocí analýzy EEG signálů získaných nízkonákladovým zařízením. K zodpovězení této otázky byl proveden ERP experiment podle protokolu CIT, kde byla sledována mozková aktivita v reakci na vizuální stimuly známých a neznámých tváří. Subjekty se snažily skrýt své vědomosti o účasti na dané události. Soubor dat se skládal z 50 jedinců z Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Experimentální testování využívalo protokol založený na vyvolávání ERP s důrazem na složku P300. Namísto kladení otázek byly subjektům na obrazovce zobrazeny různé vizuální podněty, které

fungovaly jako stimul a generovaly v mozku odlišné ERP reakce: sondy (známé tváře související s trestným činem), cíle (známé tváře pro kontrolu spolupráce subjektu) a irelevantní (neznámé tváře).

5.1.1 Příprava experimentu

Před zahájením experimentu byl všem subjektům předložen písemný informovaný souhlas s účastí ve výzkumu. Účastníci byli následně náhodně rozděleni do dvou skupin, na vinné a nevinné. Všechny signály subjektů byly hodnoceny s jejich písemným souhlasem. Výzkum byl schválen Etickou komisí výzkumu Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Účastníci byli instruováni, aby minimalizovali pohyby těla, očí a mrkání během experimentu, aby se předešlo vzniku artefaktů a aby odpovídali pravdivě či lhali, když čelí určitým podnětům. EEG signály byly zaznamenávány pomocí nízkonákladového neinvazivního 5kanálového zařízení Emotiv Insight během prezentace vizuálních podnětů.

5.1.2 Experimentální scénář

Pro detekci lži byl vytvořen experimentální scénář simulující falešný zločin, konkrétně krádež na Fakultě aplikované informatiky na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. Tento scénář zahrnoval sérii vizuálních podnětů s cílem vyvolat vlnu P300. Účastníkům z vinné skupiny byla před experimentem předložena fotografie osoby, které měli údajně ukrást určitý předmět. Jejich úkolem bylo identifikovat tuto osobu jako neznámou a na ostatní podněty odpovídat pravdivě. Časové rozpětí experimentu bylo přibližně 15 minut.

5.1.3 Snímání dat

EEG data byla získávána během experimentu za účelem detekce lži pomocí analýzy komponenty P300. Subjektům byly prezentovány obrázky promítané na obrazovce, přičemž bylo zjišťováno, zda jsou obeznámeni s tváří či nikoli. Účastníci byli instruováni, aby odpovídali „ANO“ či „NE“ co nejrychleji po zobrazení každé fotografie. Fotografie známé osoby fungovala jako sonda, což mělo vyvolat v mozku vinného subjektu reakci P300 s vysokou amplitudou.

Postup snímání dat

- **Umístění náhlavní soupravy:** Nejprve byla nasazena náhlavní souprava s adekvátně navlhčenými elektrodami. Správné nasazení zařízení je zásadní, jelikož každá elektroda měří specifickou část mozku.
- **Kontrola kvality signálu:** Před zahájením záznamu bylo nutné dosáhnout vysoké kvality EEG signálu, což je klíčové pro následnou analýzu. Kvalita signálu byla ověřována vizuálně pomocí softwaru EmotivPro.
- **Zahájení měření:** Po dosažení vysoké kvality signálu, byl zahájen proces záznamu signálu.
- **Export dat:** Naměřené surové EEG signály byly získány pomocí softwaru EmotivPro, který je určen primárně pro práci s náhlavní soupravou od firmy Emotiv, a byly exportovány pro následnou analýzu ve formátu CSV.

- **Úprava dat:** Před samotným předzpracováním proběhla úprava dat do specifického formátu, vhodného pro import dat do nástroje EEGLAB.
- **Automatizace procesu:** Úprava dat pro všechny subjekty proběhla pomocí kódu vytvořeného v Matlabu, který byl poté využit ve výsledném programu.

5.2 Předzpracování dat

Před zahájením analýzy dat je nezbytné předzpracovat signály EEG za účelem odstranění artefaktů a šumu, které mohou ztížit detekci komponenty ERP P300 generované stimuly a snížit celkovou přesnost systému [10]. Mozkové vlny jsou slabé fyziologické signály a jsou náchylné k rušení, proto je odstranění nežádoucích signálů důležité pro následné zpracování a analýzu [8]. Artefakty mohou být odstraněny vizuálně nebo pomocí automatizovaných metod. Pro odstranění šumu a artefaktů se nejčastěji využívá metoda Band-Pass Filter (BPF) [4-13, 15]. Užitečná složka EEG signálu je v rozmezí 0,5 Hz až 30 Hz [4, 7, 9-11], ostatní frekvence jsou eliminovány. Předzpracování EEG dat bylo provedeno pomocí nástrojů EEGLAB a ERPLAB v Matlabu.

Postup předzpracování dat

- **Nastavení cesty pro EEGLAB:** Před zahájením analýzy je nutné nastavit cestu ke složce EEGLAB.
- **Import dat:** Dalším krokem je import dat do EEGLAB.
- **Výběr dat:** Byl proveden výběr vhodných dat pro následnou analýzu.
- **Umístění kanálů:** Nastavení umístění jednotlivých kanálů v EEGLAB.
- **Filtrace (Notch filtr):** Předběžná filtrace dat byla provedena pomocí Parks-McClellan Notch filtru v ERPLAB, který odstranil DC offset a horní hranici signálu nastavenou na 50 Hz.
- **Tvorba eventů:** Dále byly importovány informace o jednotlivých eventech (sonda, cíl, irelevantní), které se používají pro označení času nástupu jednotlivých stimulů a pomáhají při analýze EEG dat rozpoznat ERP komponenty očekávané jako reakce na konkrétní stimul.
- **Vytvoření seznamu událostí:** Následně byl vytvořen seznam událostí pro konkrétní eventy.
- **Tvorba epoch:** Dalším krokem bylo rozdělení dat do jednotlivých epoch, které umožňují sledování časové události. Bylo vytvořeno časové okno s dobou trvání od -50 do 950 ms se vzorkovací frekvencí 128 Hz.
- **Výběr kanálu:** Kanál Pz byl vybrán pro analýzu kvůli své lokalizaci nad parietální částí mozku, která je spojena s kognitivními funkcemi a zpracováním informací.
- **Filtrace (IIR Butterworth):** Následná filtrace dat byla provedena pomocí IIR Butterworth filtru v rozsahu 0,5-30 Hz, který odstraňuje neúčinná pásma a artefakty okolního prostředí.

- **Odstranění artefaktů:** Po filtraci byla provedena detekce a odstranění artefaktů pomocí vestavěných funkcí v EEGLAB. Kritérium pro odstranění artefaktů bylo nastaveno na $\pm 100 \mu\text{V}$ pro jednotlivé epochy.
- **Průměrování ERP:** Závěrečným krokem bylo vytvoření zprůměrovaného ERP datasetu. EEG data obsahují mnoho šumu kvůli různým procesům probíhajícím v mozku, proto je vhodné provést více měření a data následně zprůměrovat [24]. Výsledkem předzpracování jsou průměrné hodnoty ERP pro sondy i irelevantní podněty na elektrodě Pz u každého účastníka.
- **Export dat:** Pro kontrolu dat byl proveden export do souboru CSV.
- **Vizuální kontrola dat:** Pro vizuální kontrolu předzpracovaných dat je možné využít EEGLAB a ERPLAB k vykreslení jednotlivých grafů.
- **Automatizace procesu:** Pro předzpracování byla využita automatizace pomocí naprogramovaných funkcí a skriptů z EEGLAB. Tento kód byl následně použit ve výsledném programu, což výrazně urychlilo celý proces.

5.3 Extrakce vlastností

Tato část se zaměřuje na různé přístupy k extrakci vlastností sloužících k identifikaci složitých vzorců mozkových vln. Výběr užitečného signálu se provádí pomocí množiny parametrů, které se následně využívají ke klasifikaci. EEG signál je nestacionární a jeho frekvence se mění v závislosti na čase. Při detekci lži se frekvence mění při reakci subjektu na konkrétní podnět v určitém čase. Nepracované EEG signály jsou zaznamenávány v časové oblasti, tedy jako funkce času. Pouze časová informace však nestačí k analýze nestacionárního signálu EEG, a proto se k získání užitečných informací používají různé techniky extrakce vlastností [2, 4, 10, 11, 21]. V předchozích studiích CIT založených na ERP P300 pro detekci lži byly pro analýzu EEG signálů použity různé metody extrakce vlastností založené na časové, frekvenční či časově-frekvenční doméně. Tyto metody a jejich kombinace se využívají ke zvýšení přesnosti a výkonu systému [P.1]. Analýza dat zde byla provedena v časové oblasti na datech ERP a také v časově-frekvenční oblasti pomocí DWT.

5.3.1 Discrete Wavelet Transform

DWT je jednou z dominantních technik pro analýzu časově proměnných charakteristik nestacionárních signálů. Analyzuje časově-frekvenční oblasti, což z ní činí ideální metodu pro extrakci vlastností. DWT výrazně snižuje množství dat potřebných pro analýzu tím, že rozkládá signál na aproximační a detailní koeficienty pomocí různých filtrů [9, 24]. DWT rozděluje signál na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční složky do subpásem stejné šířky v první úrovni. V následujících úrovních jsou do dílčích pásem rozděleny pouze nízkofrekvenční složky [24]. Byl proveden víceúrovňový jednorozměrný vlnkový rozklad, kde na každé úrovni je rozklad charakterizován operátorem dolní propusti, poskytujícím aproximační koeficienty, a horní propusti, poskytujícím koeficienty detailů [4]. DWT tedy rozkládá signál na různá frekvenční pásma

pomocí filtrů a vrací aproximační a detailní koeficienty v jednotlivých úrovních, které slouží pro výpočet vlastností určených pro vstup do klasifikátoru [9, 25].

Postup extrakce vlastností

- **Výběr frekvenčních pásem:** Nejinformativnější frekvenční pásma pro analýzu EEG signálů v kontextu P300 jsou alfa, beta, delta a théta. Frekvenční pásmo gama, přesahující 30 Hz, bylo eliminováno jako artefakt. Delta vlny (0,5-4 Hz) jsou klíčové, protože významně korelují s amplitudou P300. Théta vlny (4-8 Hz) jsou rovněž vysoce relevantní, protože jsou propojeny s procesy kódování a vyhledávání paměti. Alfa vlny (8-12 Hz) a beta vlny (12-30 Hz) hrají roli v kontrole pozornosti a sensoricko-motorickém zpracování [9, 11, 19, 20, 24].
- **Aplikace DWT na EEG signály:** DWT bylo použito k převodu získaného EEG signálu se vzorkovací frekvencí 128 Hz na reprezentaci v časově-frekvenční doméně pro zachycení hlavních frekvenčních pásem EEG relevantních pro analýzu P300. Byl proveden rozklad páté úrovně pomocí vlnkového filtru Daubechies čtvrtého řádu (db4), protože jeho vlastnosti připomínají odezvy ERP [4]. Po aplikaci DWT jsou signály rozděleny do jednotlivých frekvenčních pásem EEG (alfa, beta, delta a théta), poskytující aproximační a detailní koeficienty.
- **Výpočet statistických vlastností:** Byly vybrány různé statistické vlastnosti signálu pro komplexnější analýzu P300, konkrétně maximum, minimum, peak-to-peak, průměr, směrodatná odchylka, medián, šikmost, špičatost, entropie, parametry Hjorth (aktivita, mobilita, složitost), energie a výkon [6, 9, 10]. Tyto vlastnosti byly vypočteny pro podněty sond a irelevantní podněty na datech ERP v časové oblasti a na koeficientech DWT v jednotlivých vlnových pásmech v časově-frekvenční oblasti pro všechny subjekty. Tyto vlastnosti slouží jako charakteristiky pro klasifikaci.
- **Tvorba vektoru:** Po výpočtu průměrných ERP a vlnkových koeficientů pomocí DWT na elektrodě Pz byly na každou dílčí složku aplikovány různé statistické metody. Výsledné vlastnosti byly sloučeny do jediného vektoru, včetně označení tříd. Nakonec byla získána matice vlastností obsahující sedmdesát charakteristik a jeden sloupec třídy pro jednotlivé podněty u každého subjektu, která sloužila jako vstup do klasifikačního algoritmu.
- **Automatizace procesu:** Z důvodu nutnosti zpracování velkého množství dat byla použita automatizace pomocí kódu vytvořeného v Matlabu.

5.4 Výběr vlastností

Výběr vhodných vlastností je klíčovým krokem pro detekci lži pomocí EEG signálů při analýze odpovědi ERP P300 v reakci na rozpoznání obličeje před provedením klasifikace. Cílem je identifikovat optimální sadu vlastností, která umožní sestavit efektivní model ze shromážděných dat [17]. V této studii byly

analýzy aspektů EEG provedeny jak v časové oblasti na datech ERP, tak i v časově-frekvenční doméně pomocí DWT. Výběr relevantních vlastností z těchto dat je zásadní jak pro zlepšení výpočetní efektivity, tak pro zvýšení použitelnosti systémů založených na EEG v reálných aplikacích [9]. Různé metody výběru vlastností nabízejí různé přístupy k identifikaci nejvíce informativních charakteristik z EEG signálů. Mezi často používané metody výběru vlastností v této oblasti patří genetický algoritmus (GA) [10, 11], Binary BAT [4, 6] a Analysis of Variance (ANOVA) [19]. Další možností je použití Principal Component Analysis (PCA) v Classification Learneru. Pro vyhodnocení výkonu vlastností byly použity tři metody: GA, ANOVA a PCA. Nejlepších výsledků dosáhl GA, který byl poté použit pro tvorbu finálního modelu.

5.4.1 Genetický algoritmus

GA, inspirované přírodním výběrem, mají schopnost prohledávat rozsáhlý a komplexní prostor vlastností pomocí evolučních principů, což může vést k nalezení optimálních vlastností. Tento algoritmus iterativně zlepšuje populaci kandidátních řešení pomocí operací, jako jsou selekce, křížení a mutace. GA jsou flexibilní a mohou být přizpůsobeny různým typům dat a kritériím optimalizace. GA byl zvolen pro výběr optimální sady vlastností vzhledem k jeho vyšší efektivitě oproti tradičním metodám. Díky své schopnosti prozkoumávat velký prostor možností a nalézat nečekané kombinace vlastností se ukázal jako velmi efektivní. GA nejenže zohledňuje složité interakce mezi vlastnostmi, ale také zvyšuje celkový výkon a stabilitu modelu, což je klíčové pro aplikace, jako je detekce lži pomocí EEG signálů [10, 11].

Funkčnost GA

GA je účinná metoda pro nalezení optimálních řešení v prostoru možných kombinací. Proces se opakuje iterativně, dokud není dosaženo stanoveného kritéria, jako je maximální počet generací nebo dokud není nalezeno optimální řešení. Jeho funkčnost spočívá v několika klíčových krocích:

- **Inicializace populace:** GA vytvoří počáteční soubor náhodných binárních vektorů, kde každý vektor reprezentuje kombinaci vybraných vlastností.
- **Hodnocení jedinců:** Jedinci jsou hodnoceni pomocí fitness funkce.
- **Výběr rodičů:** Rodiče jsou vybíráni z populace na základě fitness hodnot.
- **Křížení:** Kombinace vlastností rodičů k vytvoření nových potomků.
- **Mutace:** Náhodná změna některých vlastností potomků pro prozkoumání nových částí prostoru řešení a zvýšení diverzity populace.
- **Tvorba nové populace:** Nová populace je vytvořena z potomků a některých nejlepších jedinců z předchozí generace.

Optimalizace nastavení GA

Pro optimalizaci výběru vlastností byl GA nastaven s následujícími parametry:

- **Maximální počet generací** (MaxGenerations): Maximální počet generací byl nastaven na 100 pro důkladnější průzkum prostoru řešení.
- **Velikost populace** (PopulationSize): Velikost populace byla nastavena na 200 pro zajištění dostatečné diverzity populace.
- **Křížení** (CrossoverFraction): Pravděpodobnost křížení byla nastavena na 0,8, což znamená, že 80 % populace se bude podílet na křížení.
- **Mutace** (MutationFcn): Funkce pro mutaci jedinců byla nastavena na 0,05.

Využití Gaussian SVM v GA

Využití Gaussian Support Vector Machine (SVM) v kontextu GA pro výběr optimálních vlastností je efektivním řešením pro klasifikaci EEG dat. SVM s Gaussian jádrovou funkcí dokáže lépe zachytit komplexní vztahy v datech díky své schopnosti transformovat vstupní prostor do vyšších dimenzí a vytvářet nelineární rozhodovací hranice, což je klíčové pro analýzu EEG dat. GA je použit pro výběr optimální podmnožiny vlastností, které maximalizují klasifikační schopnosti modelu SVM a zlepšují jeho výkon. Tato kombinace umožňuje dosažení vyšší přesnosti klasifikace a zároveň zajišťuje robustnost a schopnost generalizace modelu na nová data. GA byl použit k výběru 35 nejlepších vlastností z celkového počtu 70 vlastností, čímž se snížila doba běhu celého procesu a složitost prostoru vlastností. Výsledná sada vlastností byla následně použita pro klasifikaci dat pomocí SVM. Stabilita modelu a průměrná přesnost klasifikace byla dosažena na úrovni 95,09 %, což potvrzuje efektivitu a výhody použití GA v této oblasti. Jelikož je tento proces náročný jak časově, tak výpočetně, byl v programu pro predikci zvolen hotový model s těmito vybranými vlastnostmi.

5.5 Klasifikace

Po extrakci a výběru vhodných vlastností EEG signálu následuje klíčový krok klasifikace dat, jehož cílem je určit přítomnost cílové informace u subjektu. Ve fázi klasifikace se shromážděné vlastnosti nejčastěji porovnávají pomocí klasifikačních algoritmů [22]. Algoritmy pro automatickou detekci lži z analýzy mozkových vln jsou předmětem intenzivního zájmu výzkumné komunity. Pro odhalení skrytých informací z EEG dat se nejčastěji využívají algoritmy strojového učení, které se staly dalším nástrojem pro CIT [11]. Důležitou vlastností těchto metod je jejich nezávislost na subjektivním hodnocení, interpretaci či vyhodnocování dat [P.1]. Mezi nejčastěji využívané algoritmy patří SVM [4, 7, 10, 21, 22], Linear Discriminant Analysis (LDA) [4, 7, 9-11], Multi-Layer Feed Forward Neural Network (MLFFNN) [4, 7, 10, 12], K-Nearest Neighbors (KNN) [4, 7, 8, 10] a Naive Bayes (NB) [4, 7, 10]. Další možností je využití Decision Trees (DT).

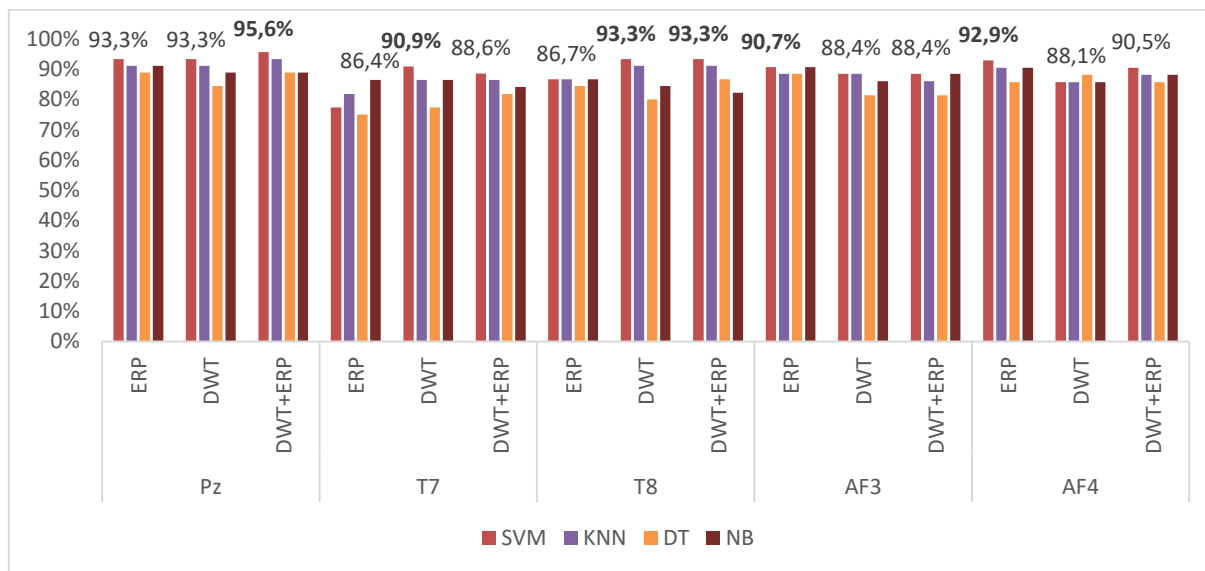
5.5.1 Porovnání metod pro klasifikaci EEG dat

V této disertační práci byly analyzovány různé metody extrakce a výběru vlastností a klasifikační algoritmy s cílem maximalizovat přesnost detekce lži

pomocí EEG signálů. Hlavním cílem bylo identifikovat kombinace metod a algoritmů, které poskytují nejvyšší přesnost klasifikace na základě analýzy ERP P300 za použití nízkonákladového zařízení.

Porovnání metod extrakce vlastností na jednotlivých elektrodách

Porovnání přesnosti klasifikace pro jednotlivé metody extrakce vlastností u jednotlivých elektrod aplikovaných na různých algoritmech lze vidět na Obr. 4.

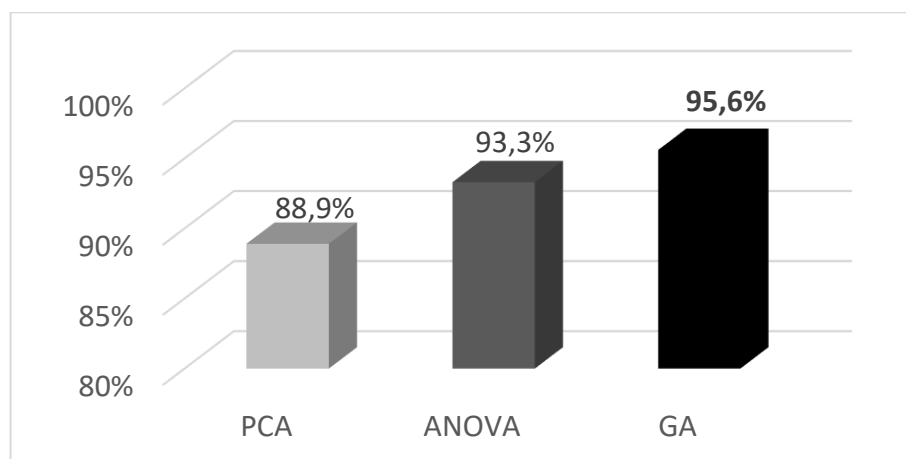


Obr. 4.: Porovnání přesnosti klasifikace na různých elektrodách

Nejvyšší přesnosti klasifikace bylo dosaženo na elektrodě Pz při použití algoritmu SVM s kombinací metod ERP a DWT, kde přesnost dosáhla až 95,6 %, což ukazuje vhodnost SVM pro detekci lži na základě EEG signálů.

Porovnání metod výběru vlastností

Pro optimalizaci výběru vlastností byly použity různé metody, konkrétně GA, ANOVA a PCA, s cílem získat nejvýznamnější vlastnosti z celkových 70 statistických vlastností.



Obr. 5.: Porovnání metod výběru vlastností

Nejvyšší přesnosti klasifikace bylo dosaženo při použití GA pro výběr vlastností z ERP a DWT dat v kombinaci s klasifikačním algoritmem SVM na elektrodě Pz, což potvrzuje její vhodnost pro detekci lži pomocí EEG signálů.

5.5.2 Gaussian Support Vector Machine

V této práci byl pro tvorbu finálního modelu použit Medium Gaussian SVM s jádrem Radial Basis Function (RBF), což je robustní algoritmus strojového učení schopný vytvářet rozhodovací hyperrovinu maximalizující vzdálenost mezi třídami dat [4, 11, 21]. Gaussian SVM je zvláště vhodný pro analýzu ERP P300 signálů, které reflektují reakce mozku na známé podněty, jež mohou mít nelineární povahu [4]. Robustnost SVM vůči přetížení (overfitting) je zajištěna díky optimalizaci parametrů a použití jádra.

Parametry modelu Gaussian SVM

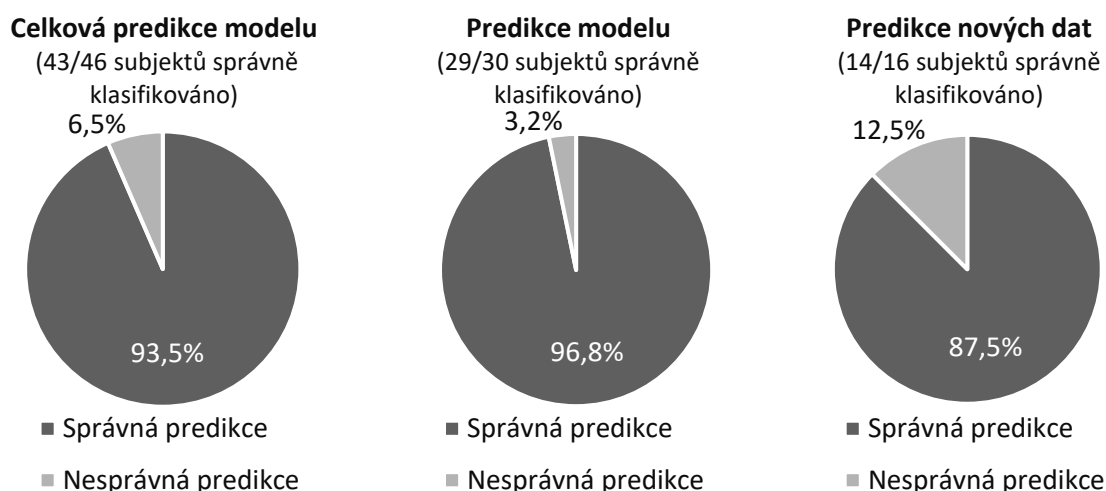
- **Kernel Scale ($\gamma = 5,3$):** Určuje šířku Gaussian jádra. Hodnota 5,3 byla vybrána na základě optimalizace, která zajistila nejlepší výkon modelu.
- **Box Constraint Level ($C = 1$):** Kontroluje regularizaci modelu. Hodnota 1 poskytuje rovnováhu mezi přesností a generalizační schopností modelu.
- **Multiclass Method (One-vs-One):** Rozděluje vícetřídní klasifikační úlohu na několik dvojtřídních problémů. U každé dvojice tříd je natrénován jeden SVM model a rozhodnutí se provádí na základě většinového hlasování.
- **Standardize Data (True):** Zajišťuje, že všechny vlastnosti mají stejný vliv na rozhodovací hranici modelu, což zlepšuje stabilitu a výkon modelu.

5.5.3 Postup klasifikace dat a tvorba modelu

Tato práce představuje nový přístup ke klasifikaci EEG signálů za využití modifikovaného testu CIT založeného na ERP P300 s využitím pokročilých metod výběru vlastností a strojového učení. Klasifikace dat a tvorba modelu je klíčovým krokem pro úspěšné rozlišení mezi vinnými a nevinnými subjekty. Tento přístup je zásadní pro vývoj efektivního systému detekce lži pomocí EEG.

- **Implementace klasifikačního modelu:** Klasifikace dat zahrnuje vytvoření modelu obsahujícího pravidla pro rozdělení dat do klasifikačních tříd. Pro trénink modelu byla data připravena ve formě matice obsahující 70 atributů (70 statistických vlastností a klasifikační třídu).
- **Extrakce a výběr vlastností:** Klasifikace EEG signálů je významně ovlivněna výběrem vlastností. V této práci byly statistické vlastnosti extrahovány z aproximačních a detailních koeficientů získaných z DWT v každém vlnovém pásmu a z ERP dat. Výběr vhodných vlastností byl proveden pomocí GA, který vybral 35 nejrelevantnějších vlastností z celkových 70. To vedlo k tvorbě finální matice obsahující vybrané statistické vlastnosti aplikované na hodnoty ERP a DWT pro podněty sond a irelevantní podněty na elektrodě Pz pro všechny subjekty.

- **Křížová validace:** Před trénováním byla použita křížová validace k vyhodnocení výkonnosti modelu na celkovém datasetu. Křížová validace se provádí za účelem ochrany proti přetrénování dat [21].
- **Trénink a testování modelu:** Po výběru vhodných vlastností signálu byla data rozdělena na trénovací a testovací množiny s použitím desetinásobné křížové validace. Pro trénink modelu bylo využito prvních 30 subjektů (15 vinných, 15 nevinných) z celkových 50, zatímco zbývající subjekty (9 vinných, 7 nevinných) byly vyhrazeny pro finální testování modelu na nových datech k ověření jeho robustnosti a výkonu. Čtyři subjekty byly odstraněny kvůli nadměrnému množství artefaktů nebo neplatnému měření. Klasifikační algoritmus SVM s vlastnostmi generovanými pomocí DWT a ERP, vybranými pomocí GA, se ukázal jako nejúspěšnější.
- **Predikce a klasifikace:** Konečným cílem metody CIT je určit, zda je subjekt vinný nebo nevinný. Predikce modelu byla založena na přítomnosti ERP komponenty P300 v reakci na podnět sondy v EEG signálech.
- **Kontrola falešných pozitiv:** Pro zvýšení preference klasifikace subjektů jako nevinných byl zvolen parametr jádra v Gaussian SVM s menší hodnotou, který zvyšuje citlivost modelu vůči falešným pozitivům.
- **Optimalizace modelu a parametrů:** Nejvyšší přesnosti dosáhl algoritmus SVM s vlastnostmi kombinujícími ERP a DWT. Po výběru vlastností pomocí GA a optimalizaci parametrů SVM byl model schopen správně predikovat 43 z 46 subjektů, zatímco předtím správně predikoval 40 z 46 subjektů. Jako finální model byl vybrán Medium Gaussian SVM s parametrem jádra 5,3 a pro GA byly nastaveny hodnoty mutace 0,05 a křížení 0,8, což vedlo ke stabilní přesnosti klasifikace 95,09 % a správné predikci 14 z 16 nových subjektů. Tento přístup vedl k výběru parametrů s nejlepšími výsledky, které zajistily, že vybrané vlastnosti jsou robustní a dobře generalizují na nová data, což je kritické pro praktické aplikace, jako je detekce lži pomocí EEG signálů.

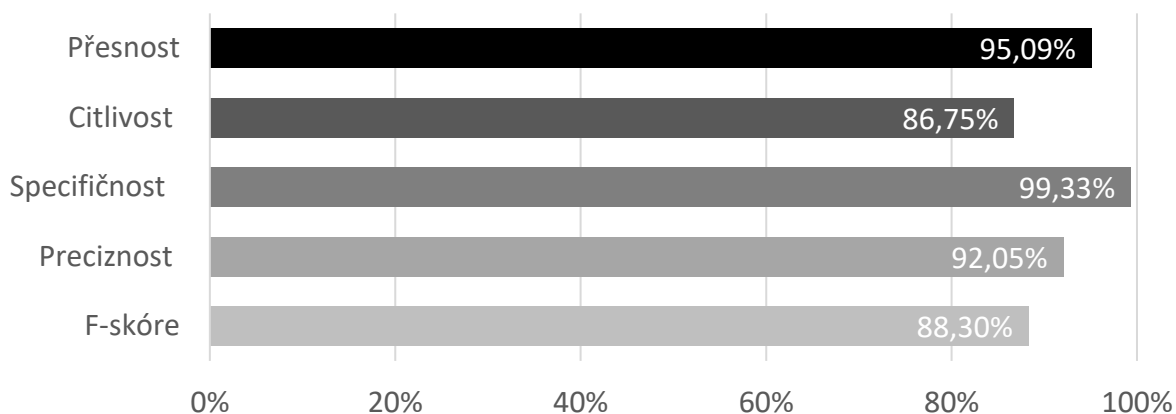


Obr. 6.: Přesnost predikce finálního modelu

- **Automatizace procesu:** Vzhledem k velkému množství dat byl použit skript v prostředí Matlab, který automatizoval proces predikce, čímž se zjednodušil a urychlil celý postup.
- **Dílčí závěr:** V rámci disertační práce zaměřené na detekci lži pomocí analýzy ERP P300 z EEG signálů na elektrodě Pz dosáhl finální model průměrné přesnosti klasifikace 95,09 %. Použití GA pro výběr relevantních vlastností z ERP a DWT dat v různých frekvenčních pásmech v kombinaci s SVM a optimalizací parametrů vedlo k vysoké přesnosti klasifikace. Finální model správně predikoval 43 z 46 celkových subjektů a 14 z 16 nových subjektů. Tento výsledek potvrzuje vhodnost kombinace zvolených metod jako účinné strategie pro detekci lži pomocí EEG signálů. Finální model byl vytvořen v prostředí Classification Learner v Matlabu a poté použit ve výsledném programu pro detekci lži. Výkonnost modelu byla následně hodnocena pomocí různých metrik výkonu, které hodnotí správnost predikce jednotlivých tříd.

5.5.4 Vyhodnocení modelu

Vyhodnocení modelu je klíčovým krokem v procesu klasifikace, protože poskytuje informace o jeho spolehlivosti a účinnosti. Pro výpočet výkonu klasifikátoru se berou v úvahu různé ukazatele získané z Confusion Matrix, jako je přesnost, citlivost, specifičnost, preciznost a F-skóre [7-10]. Tyto metriky poskytují komplexní přehled o tom, jak model funguje při klasifikaci dat do jednotlivých tříd. Pro porovnání výsledků se současnými studiemi byla využita přesnost klasifikace.



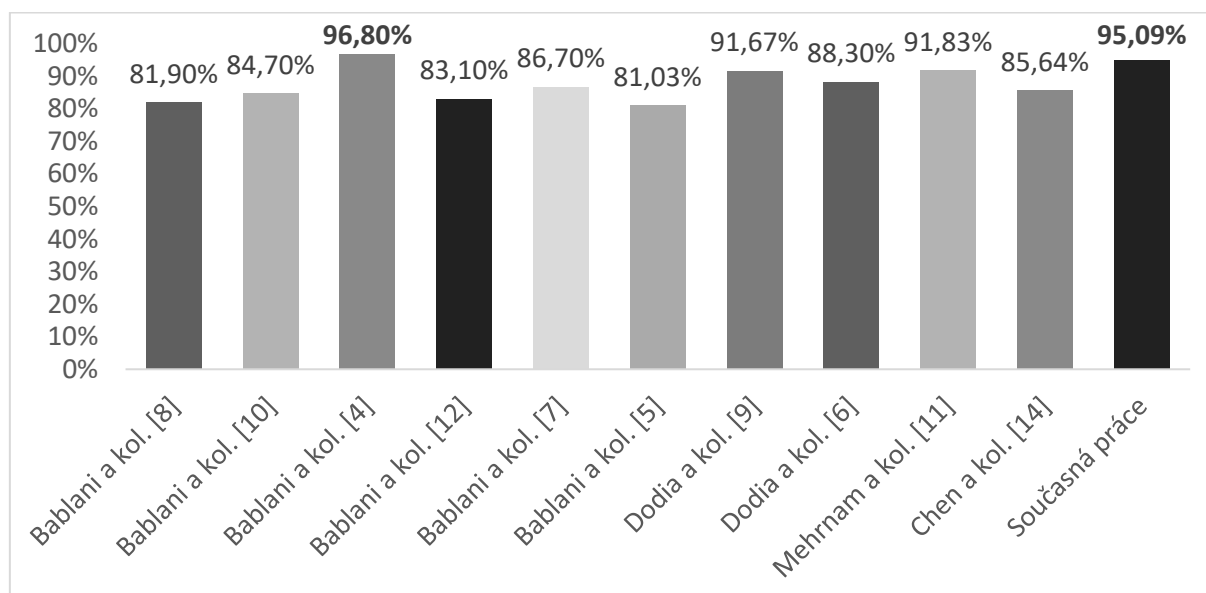
Obr. 7.: Průměrné hodnoty jednotlivých metrik výkonu

Výsledky této studie potvrzují, že kombinace ERP a DWT s metodou výběru vlastností pomocí GA a algoritmem SVM poskytuje efektivní nástroj pro detekci lži na základě EEG signálů. Prezentovaný model dosáhl průměrné přesnosti klasifikace 95,09 %, což potvrzuje jeho potenciál v oblasti neurověd a detekce lži. Vysoká přesnost klasifikace, spolu s vynikající specifičností a solidní citlivostí, naznačuje, že tento model by mohl být velmi užitečný pro praktické aplikace.

Navržený model úspěšně klasifikoval 43 z 46 subjektů správně, což potvrzuje jeho robustnost a schopnost generalizace na nová data. Chybná klasifikace tří subjektů může být přičítána faktorům jako individuální variabilita EEG signálů, přítomnost artefaktů, stres a úzkost. Výsledky této studie naznačují, že kombinace ERP P300 a pokročilých metod strojového učení pro klasifikaci může být účinným nástrojem a přispět tak k dalšímu výzkumu a vývoji spolehlivých a přesných systémů pro detekci lži pomocí analýzy mozkových vln.

5.6 Srovnání se stávajícími studii

Srovnání současného přístupu se stávajícími studii je klíčovým krokem k posouzení účinnosti navržené metodiky. Pro porovnání byly vybrány studie zaměřené na detekci lži pomocí EEG signálů při zkoumání reakce ERP P300 na známé tváře. Cílem je nejen porovnat jednotlivé studie, ale také zdůraznit jedinečné aspekty současného přístupu ve srovnání s metodami použitými v literatuře. Výsledky dosažené v této disertační práci významně převyšují většinu stávajících studií zaměřených na detekci lži pomocí EEG. Použitím kombinace metod DWT a ERP pro extrakci vlastností, GA pro výběr vlastností a algoritmu SVM pro klasifikaci se podařilo dosáhnout průměrné přesnosti 95,09 %. Tato hodnota je pozoruhodná v kontextu aktuální literatury, kde se přesnosti dosahované různými metodami extrakce a klasifikace pohybují v rozmezí 81,03 % až 96,8 %, přičemž pouze jedna studie dosáhla vyšší přesnosti než současná práce.



Obr. 8.: Srovnání současného přístupu se stávajícími studii

Výsledky této studie jsou výjimečné, s průměrnou přesností klasifikace 95,09 %, což převyšuje výsledky většiny zmíněných studií a přináší významné přínosy pro oblast detekce lži pomocí EEG v reakci na známé a neznámé tváře. Vysoká přesnost dosažená pomocí nízkonákladového vybavení, pokročilých metod strojového učení a výběru vlastností ukazuje na potenciál pro praktické

aplikace a další výzkum. Použití nízkonákladového zařízení je významné, neboť ukazuje, že i s méně nákladným vybavením při použití pouze jednoho kanálu je možno dosáhnout vysoké úrovně přesnosti. To ukazuje na proveditelnost detekce lži z EEG signálů s menším počtem kanálů, což umožňuje nákladově efektivní implementaci. Větší počet subjektů ve srovnání s většinou ostatních studií zvyšuje validitu a generalizovatelnost výsledků, což představuje významný přínos k dalšímu rozvoji této oblasti výzkumu.

6. VÝVOJ APLIKACE PRO DETEKCI LŽI

Vytvoření aplikace pro detekci lži pomocí EEG signálů bylo motivováno potřebou zjednodušit a urychlit proces identifikace klamání. Tradiční metody analýzy EEG dat a následná klasifikace vyžadují značné odborné znalosti a jsou časově náročné. V současné době existuje snaha o vývoj nástrojů, které tento proces automatizují a zpřístupní širší veřejnosti. Byla vyvinuta aplikace, která umožňuje rychlou a jednoduchou detekci lži bez potřeby hlubších znalostí v dané problematice. Aplikace poskytuje výstup ve formě zprávy indikující, zda subjekt lže či nelže, což výrazně zjednodušuje celý proces. Aplikace byla vytvořena pomocí nástroje App Designer v Matlabu, což zaručuje moderní design a funkčnost grafického uživatelského rozhraní (GUI). Tento systém detekuje lež prostřednictvím analýzy ERP komponenty P300 získané z EEG signálů. Klíčové vlastnosti byly vybrány pomocí GA z ERP a DWT dat a následně zpracovány pomocí algoritmu SVM. Jednotlivé metody byly zvoleny na základě výsledků provedených experimentů a vyvinuté metodiky v předchozích částech práce. Tento přístup zajišťuje vysokou přesnost a spolehlivost klasifikace, čímž přispívá k vývoji detekce lži za použití pokročilých technologií a strojového učení. Výsledná aplikace je připravena k distribuci jako samostatný exe soubor bez nutnosti vlastnění licence k Matlabu.

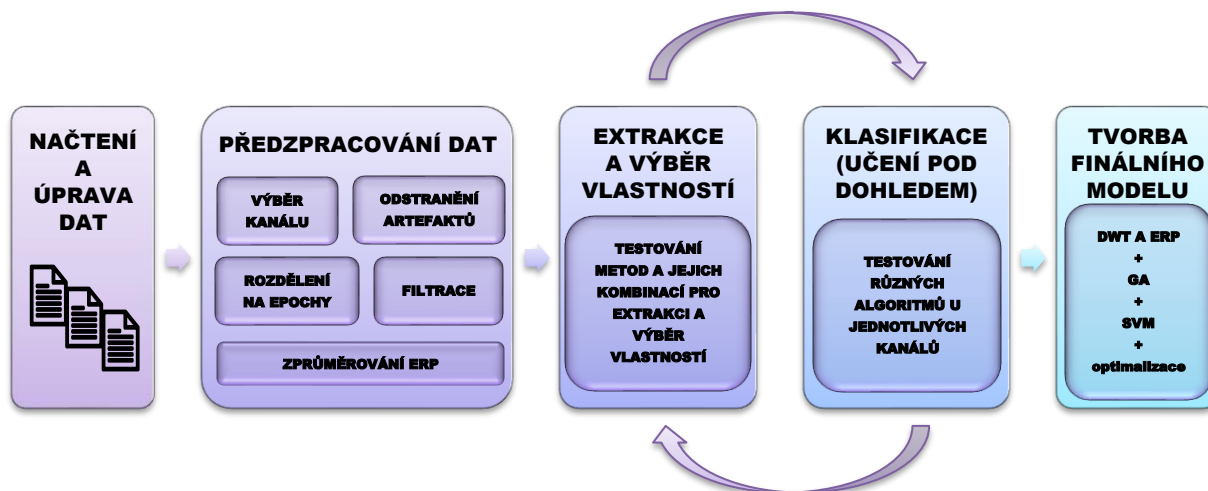


Obr. 9.: Aplikace pro detekci lži

Trénink a predikce modelu

Proces trénování modelu se opakuje, dokud není dosaženo optimálního modelu. Následně je natrénovaný model integrován do aplikace pro predikci.

Trénink (opakuje se, dokud se nezíská nejlepší model)



Predikce (integrace natrénovaného modelu do aplikace)



Obr. 10.: Pracovní postup aplikace

6.1 Popis hlavních funkcí aplikace

Hlavní funkce spolupracují na automatizaci procesu detekce lži pomocí EEG, od načtení souboru a extrakce vlastností až po identifikaci možných lží. Důležitou částí je robustní ochrana proti chybám a důkladné předzpracování dat, což zajišťuje spolehlivost a přesnost výsledků.

- **Načtení dat (funkce LoadDataPushed):** Tato část programu obsahuje specifické funkce, které načítají a upravují data do vhodného formátu pro další zpracování z CSV souboru vybraného uživatelem, přičemž každá část obsahuje ochranu proti chybám a kontrolu kvality dat.
- **Analýza dat (funkce AnalysisPushed):** Tato funkce umožňuje komplexní automatizovanou analýzu EEG dat zahrnující předzpracování signálů s cílem extrahovat relevantní vlastnosti pro následnou klasifikaci, přičemž ošetřuje možné chyby a kontroluje provedení předchozího kroku.

- **Detekce lži (funkce LieDetectionPushed):** Tato část programu je navržena tak, aby využívala analyzovaná data z předchozí části a prováděla predikci pomocí předem natrénovaného modelu strojového učení. Výsledkem predikce je určení, zda jde o lež nebo pravdu. Pokud dojde k chybě, uživatel je o této skutečnosti informován pomocí chybové zprávy.

6.2 Distribuce aplikace pro detekci lži pomocí EEG

Automatizovaný proces detekce lži zahrnuje snímání dat pomocí navrženého experimentu a následnou analýzu EEG dat pomocí aplikace. Získávání dat probíhá pomocí zařízení Emotiv Insight a placeného softwaru EmotivPro, který je nezbytný pro sběr dat z EEG zařízení. Pro analýzu naměřených dat je použita aplikace LiDetEEG.exe, která vyžaduje instalaci bezplatného Matlab Runtime R2020b (9.9) nebo placené verze Matlab R2020b. V této disertační práci byl sestaven podrobný manuál pro proces detekce lži pomocí EEG, který zahrnuje vzorovou prezentaci pro experiment, vyvinutou aplikaci a kompletní dokumentaci s podrobnými instrukcemi správného postupu pro získávání dat a použití aplikace. Veškeré nezbytné materiály pro detekci lži pomocí EEG jsou k dispozici jako příloha disertační práce.

7. VÝSLEDKY

Disertační práce se zaměřila na vývoj systému pro automatickou, rychlou a efektivní detekci intencionální lži pomocí analýzy EEG signálů snímaných nízkonákladovým zařízením, s využitím pokročilých metod výběru vlastností a strojového učení. Cílem bylo identifikovat nejvhodnější kombinaci metod pro extrakci a výběr vlastností a klasifikaci, která zajistí co nejvyšší přesnost detekce lži pomocí EEG.

Metodika a experiment

Byla navržena a ověřena metodika pro celý proces detekce lži pomocí EEG, která zahrnovala podrobný popis jednotlivých fází analýzy dat. Navrhovaný přístup poskytuje nový pohled na využití nízkonákladových zařízení pro detekci lži s vysokou mírou přesnosti a spolehlivosti. Experimentální návrh se zaměřil na detekci skrytých informací pro identifikaci podvodu pomocí protokolu CIT založeného na paradigmatu ERP P300, sledující mozkovou aktivitu reagující na vizuální podněty známých a neznámých tváří. Byl vytvořen scénář falešného zločinu, kde se zjišťovalo, zda je subjekt obeznámen s danou tváří či nikoli. EEG signály byly získány pomocí zařízení Emotiv Insight a softwaru EmotivPro.

Předzpracování dat a výběr elektrod

Předzpracování zahrnovalo filtrování, odstranění artefaktů, rozdělení signálů na jednotlivé epochy a výpočty ERP průměrů pro sondy a irelevantní podněty. Pro analýzu byly testovány elektrody Pz, AF3, AF4, T7 a T8, přičemž nejvyšší

přesnost byla dosažena na elektrodě Pz. Data byla zpracována pomocí softwaru Matlab a jeho nástrojů EEGLAB a ERPLAB.

Extrakce a výběr vlastností

Byly použity různé metody extrakce vlastností v časové i časově-frekvenční doméně. Nakonec bylo vybráno 70 statistických vlastností, které byly aplikovány na data ERP a DWT. Kombinace těchto metod zvyšuje klasifikační přesnost, poskytuje komplexnější pohled na signál EEG a zlepšuje detekci lži. Před přistoupením ke klasifikaci byl proveden výběr optimální sady vlastností pomocí metod GA, ANOVA a PCA za účelem zlepšení úspěšnosti klasifikace. Optimalizace sady vlastností byla provedena pomocí GA, který se osvědčil jako účinný pro identifikaci relevantních vlastností, což vedlo ke zlepšení generalizace na nová data a snížení výpočetní náročnosti ze 70 vlastností na 35. Vybrané vlastnosti byly následně zadány jako vstup do klasifikačního algoritmu.

Klasifikace

Pro klasifikaci byly využity různé metody strojového učení, konkrétně SVM, KNN, DT a NB, aplikované na data z jednotlivých elektrod s různými kombinacemi metod pro extrakci a výběr vlastností. Nejvyšší přesnosti klasifikace bylo dosaženo pomocí algoritmu SVM na elektrodě Pz s výběrem vlastností pomocí GA z dat ERP a DWT, který dosáhl přesnosti až 95,6 %.

Validace a optimalizace modelu

Do studie bylo zařazeno 50 subjektů. Model byl hodnocen na 30 subjektech s desetinásobnou křížovou validací a dosáhl průměrné klasifikační přesnosti 95,09 %. Zbylé subjekty byly ponechány jako validační pro ověření robustnosti modelu a schopnosti generalizovat na nová data. Po výběru nejrelevantnějších vlastností pomocí GA a optimalizaci parametrů Gaussian SVM byl vytvořen finální model, který dokázal správně klasifikovat 43 z 46 celkových subjektů a 14 z 16 nových subjektů, čímž vykázal robustnost při testování na nových datech.

Interpretace výsledků a srovnání se stávajícími studii

Výsledky ukazují, že navržená metodika byla schopna správně detekovat většinu subjektů díky kombinaci ERP a DWT, na které byl aplikován výběr vlastností pomocí GA pro vstup do klasifikátoru SVM. Výsledky práce výrazně předčily přesnost dosaženou ve většině současných studií, což potvrzuje efektivitu navržené metodiky a významný přínos pro oblast detekce lži pomocí EEG.

Praktická uplatnitelnost a nákladová efektivita

Použitím nízkonákladového zařízení, pokročilých metod výběru vlastností a strojového učení bylo dosaženo vysoké přesnosti klasifikace, naznačující proveditelnost a nákladovou efektivitu navrženého postupu, což je klíčové pro praktické využití v oblasti bezpečnosti a kriminalistiky.

Vývoj aplikace pro detekci lži

Proces detekce lži pomocí EEG je náročný jak časově, tak znalostně. Proto byla vyvinuta aplikace včetně návodu pro snímání mozkové aktivity, která usnadňuje automatickou detekci lži pomocí EEG s využitím nízkonákladové náhlavní soupravy Emotiv Insight. Aplikace umožňuje analýzu EEG dat bez potřeby hlubších znalostí v oblasti neurovědy či programování, čímž zjednodušuje a urychluje celý proces detekce lži a zvyšuje praktickou aplikovatelnost výsledků.

Závěrečné shrnutí

Tato disertační práce přináší nový přístup k rozpoznávání skrytých informací s podrobným popisem celého procesu odhalování lží pomocí EEG. Byla navržena aplikace pro automatickou a rychlou detekci intencionální lži, se zaměřením na analýzu ERP komponenty P300, využívající pokročilé metody strojového učení a výběru vlastností. Výsledky ukázaly, že kombinace metod ERP a DWT s výběrem vlastností pomocí GA a optimalizovaným Gaussian SVM modelem poskytuje vysokou přesnost klasifikace, přičemž elektroda Pz se ukázala jako nejrelevantnější. Navržený postup je proveditelný s nízkonákladovým EEG zařízením, což zvyšuje jeho praktickou aplikovatelnost v oblasti bezpečnosti a kriminalistiky. Vyvinutá aplikace dále usnadňuje celý proces detekce lži pomocí EEG, čímž zvyšuje přístupnost a využitelnost této metody pro široké spektrum uživatelů.

8. VYHODNOCENÍ CÍLŮ PRÁCE

Hlavním cílem této disertační práce byl vývoj systému pro efektivní a rychlou detekci lži pomocí EEG signálů snímaných nízkonákladovým zařízením, s využitím pokročilých metod výběru vlastností a strojového učení. Práce se zaměřuje na detekci intencionální lži prostřednictvím analýzy ERP komponenty P300. Měření byla provedena pomocí vizuálního ERP experimentu, který zkoumá neurofyzilogické změny při pokusu o lhaní. Následně byly porovnány a vyhodnoceny rozdíly v průběhu vln P300 účastníků v reakcích na vizuální podněty známých a neznámých tváří pomocí GA pro výběr vlastností z DWT a ERP dat a algoritmu SVM pro klasifikaci. Navržený přístup dosáhl vysoké přesnosti klasifikace, což je důležité v mnoha aplikacích výzkumu, jako je bezpečnost. Níže je uvedeno bodové vyhodnocení jednotlivých dílčích cílů:

- **Vývoj a validace metodiky pro detekci lži pomocí EEG:** Byla vytvořena a ověřena komplexní metodika pro identifikaci intencionální lži pomocí analýzy EEG signálů.
- **Návrh a realizace vizuálního ERP experimentu:** Byl navržen a realizován experiment s použitím nízkonákladového EEG zařízení Emotiv Insight, který měřil ERP komponenty P300 při vystavení účastníků vizuálním podnětům známých a neznámých tváří.

- **Analýza dat EEG a volba vhodných kritérií:** Byly identifikovány a aplikovány optimální metody, parametry a kritéria pro zpracování a analýzu EEG dat zaměřených na detekci lži.
- **Klasifikace dat EEG pomocí strojového učení:** Byly využity různé pokročilé metody strojového učení, přičemž nejlepší výsledky byly dosaženy pomocí algoritmu SVM pro klasifikaci, v kombinaci s metodami DWT a ERP pro extrakci vlastností a GA pro výběr vlastností. Finální model dosáhl průměrné přesnosti klasifikace 95,09 %, což potvrzuje jeho vysokou spolehlivost při detekci lži.
- **Vývoj uživatelsky přívětivého systému:** Byl vyvinut systém umožňující rychlou a efektivní detekci lži pomocí nízkonákladového zařízení. Aplikace je navržena tak, aby byla uživatelsky přívětivá a dostupná i pro uživatele bez odborných znalostí v oblasti EEG. Díky navrženému paradigmatu a aplikaci lze detekovat lež přibližně za 10-15 minut, včetně měření.
- **Ověření a validace navrženého systému:** Výsledky práce dosáhly lepší přesnosti klasifikace než většina studií v této oblasti. Účinnost a přesnost navrženého systému byla dále testována a ověřena na nezávislých datových sadách, přičemž systém dosáhl vysoké úspěšnosti při predikci nových dat.

Dosažené výsledky potvrzují, že navržená aplikace pro zjednodušení procesu detekce lži pomocí nízkonákladového EEG zařízení je efektivní, rychlá a snadno použitelná, což je významné pro právní a bezpečnostní kontexty.

9. PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI

Disertační práce přináší významné přínosy pro vědeckou komunitu i praktické aplikace. Následující body shrnují hlavní přínosy této práce:

Vědecký přínos

- **Inovativní použití nízkonákladového zařízení pro detekci lži pomocí EEG:** Studie dokládá, že i s využitím cenově dostupného EEG vybavení lze dosáhnout spolehlivých výsledků v detekci lži. Tento přístup rozšiřuje možnosti EEG výzkumu na širší škálu aplikací a může inspirovat další výzkumníky k využití nízkonákladových zařízení ve svých studiích.
- **Hlubší analýza a porozumění mozkovým procesům při lhaní:** Výzkum přispívá k hlubšímu pochopení vztahů mezi mozkovými vlnami, zejména ERP komponentou P300, a intencionální lži. Tento přístup zlepšuje chápání neurofyzologie lhaní a poskytuje základ pro budoucí výzkum.
- **Integrace genetických algoritmů a strojového učení:** Využití GA a SVM pro optimalizaci a klasifikaci zlepšuje přesnost detekce lži a může být inspirací pro další výzkum v oblastech strojového učení a neurovědy.
- **Analýza skrytých informací z mozku pomocí EEG:** Výzkum přináší nové možnosti pro analýzu mozkové aktivity a identifikaci skrytých informací, což otevírá nové směry pro budoucí neurovědecké studie.

- **Podrobný návod včetně komplexní metodiky pro detekci lži pomocí EEG:** Práce poskytuje komplexní metodiku a návod pro celý proces detekce lži pomocí EEG, který může sloužit jako referenční příručka.
- **Výsledky výzkumu a získané poznatky pro další experimenty:** Výsledky a poznatky získané v této práci mohou sloužit jako inspirace pro další výzkumné a experimentální činnosti v akademickém kontextu.

Praktický přínos

- **Využití EEG technologie pro detekci lži:** Studie ukazuje, že EEG technologie má potenciál stát se spolehlivým nástrojem pro detekci lži, což může být využito v oblasti bezpečnosti a soudnictví.
- **Dostupnost technologie:** Vyvinutá aplikace je navržena tak, aby byla snadno použitelná i pro osoby bez hlubokých znalostí EEG, což usnadňuje její implementaci v různých oblastech.
- **Zlepšení detekce lži:** Přesnost a spolehlivost detekce lži pomocí EEG mohou přispět k vytvoření efektivnějších a spravedlivějších nástrojů pro detekci lži, čímž podporují lepší vymáhání práva a prevenci podvodů.
- **Omezení manipulace:** EEG metoda je méně náchylná k vědomému ovlivnění subjektem ve srovnání s tradičními metodami, jako jsou polygrafy, čímž zvyšuje její důvěryhodnost.
- **Adaptace systému pro identifikaci podvodů v reálných scénářích:** Vyvinutý systém detekce lži má potenciál pro aplikaci v různých kontextech, jako jsou policejní vyšetřování, soudní procesy a bezpečnostní kontroly. Tato adaptabilita zvyšuje praktickou hodnotu technologie a možnosti jejího využití v reálných scénářích.
- **Snížení nákladů prostřednictvím efektivních metod a minimalizace počtu elektrod:** Zavedení nízkonákladových technologií pro detekci lži a použití menšího počtu elektrod přispívá ke snížení finančních nákladů spojených s těmito procesy a zjednodušuje experimentální protokoly.
- **Efektivní a rychlá detekce lži prostřednictvím vyvinuté aplikace:** Vyvinutá aplikace umožňuje automatickou, efektivní a rychlou detekci intencionální lži pomocí EEG, včetně podrobných instrukcí pro provedení experimentu. Tento přístup zkracuje čas potřebný pro vyhodnocení a zvyšuje efektivitu procesu, čímž zlepšuje její použitelnost v praxi pro širokou škálu uživatelů.

Tato disertační práce přináší významné přínosy jak pro vědeckou sféru, tak pro praktické aplikace. Vyvinutá aplikace a metodika pro detekci lži pomocí EEG signálů mají potenciál změnit přístupy k odhalování lži a podvodů v akademických výzkumech i v reálných scénářích. Budoucí výzkum by měl být zaměřen na optimalizaci metod a ověření jejich efektivity na větších a diverzifikovanějších populacích v různých praktických scénářích, což umožní širší implementaci této inovativní technologie.

ZÁVĚR

Identifikace lži je klíčová pro zajištění bezpečnosti, neboť správné odhalení skrytého chování jedince má kritický význam. Tato disertační práce se zaměřila na rozpoznávání skrytých informací za účelem odhalení intencionální lži pomocí EEG signálů získaných neinvazivním nízkonákladovým nositelným zařízením, které snímá elektrickou aktivitu mozku při prezentaci vizuálních podnětů.

Výzkum se zaměřil na využití ERP komponenty P300 v CIT k rozpoznávání známých a neznámých tváří prostřednictvím nízkonákladového EEG zařízení pro detekci lži. Navržené paradigma CIT simulující falešný zločin využívá EEG signály k analýze chování při lhaní, přičemž byly zkoumány vlny P300 v reakci na vizuální stimuly. Reakce subjektů byly klasifikovány do dvou tříd, vinných a nevinných, pomocí klasifikačního algoritmu SVM s vlastnostmi vybranými pomocí GA z ERP a DWT dat. Navržený přístup dosáhl průměrné klasifikační přesnosti 95,09 % a správně predikoval 43 z 46 subjektů.

Tato práce představuje komplexní metodiku pro detekci lži pomocí EEG signálů, se zaměřením na ERP P300 a zdůrazňuje úspěšnost navržených přístupů a jejich potenciál pro praktické využití v různých aplikacích, včetně bezpečnosti a forenzních věd. Experimenty ukázaly vysokou přesnost klasifikace při využití nízkonákladového zařízení jako rychlého, snadného a účinného detektoru lži. Studie dále demonstruje, že kombinace vlastností z různých domén a integrace pokročilých metod výběru vlastností spolu s optimalizací algoritmů strojového učení může výrazně zlepšit přesnost detekce lži, což otevírá široké možnosti aplikací. Tato zjištění podtrhují důležitost komplexního přístupu k analýze EEG signálů pro účinné rozpoznání skrytých informací za účelem odhalení podvodů. Pro zajištění využitelnosti této metody byla vyvinuta aplikace s podrobným návodem pro celý proces detekce lži pomocí EEG se zaměřením na rozpoznání obličejů. Aplikace umožňuje jednoduchou, rychlou a efektivní detekci lži prostřednictvím analýzy ERP komponenty P300, což přispívá k rozšíření povědomí o možnostech využití technologie EEG pro identifikaci podvodu. Navržená aplikace je přístupná i uživatelům bez hlubokých odborných znalostí, čímž podporuje praktičnost a snadnou implementaci této technologie do praxe.

Výsledky této práce potvrzují možnost využití ERP P300 a vizuálních podnětů v CIT pomocí EEG k identifikaci, zda podezřelý zná konkrétní obličej. Navržený přístup může sloužit jako základ pro budoucí studie zaměřené na zlepšení robustnosti detekčních modelů vůči individuálním variacím v EEG signálech a ověření přesnosti metody na větším vzorku subjektů v různých reálných scénářích. Celkově lze konstatovat, že cíle této disertační práce byly úspěšně splněny. Vyvinutá aplikace a metodika pro detekci lži pomocí EEG signálů představují významný přínos pro neurofyziologický výzkum a nabízejí potenciál pro praktické aplikace v různých oblastech.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ABOOTALEBI, Vahid, Mohammad Hassan MORADI a Mohammad Ali KHALILZADEH. A new approach for EEG feature extraction in P300-based lie detection. *Computer methods and programs in biomedicine*. 2009, **94**(1), 48-57. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2008.10.001>
- [2] LIN, Xiaohong, Liyang SAI a Zhen YUAN. Detecting Concealed Information with Fused Electroencephalography and Functional Near-infrared Spectroscopy. *Neuroscience*. 2018, **386**, 284-294. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2018.06.049>
- [3] FARWELL, Lawrence A. a Sharon S. SMITH. Using brain MERMER testing to detect knowledge despite efforts to conceal. *Journal of Forensic Sciences*. 2001, **46**(1), 135-143. PMID: 11210899.
- [4] BABLANI, Annushree, Damodar Reddy EDLA, Diwakar TRIPATHI, Shubham DODIA a Sridhar CHINTALA. A Synergistic Concealed Information Test With Novel Approach for EEG Channel Selection and SVM Parameter Optimization. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*. 2019, **14**(11), 3057-3068. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/TIFS.2019.2913798>
- [5] BABLANI, Annushree, Damodar Reddy EDLA a Venkatanareshbabu KUPPILI. Deceit Identification Test on EEG Data Using Deep Belief Network. *2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. 2018, 1-6. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ICCCNT.2018.8494124>
- [6] DODIA, Shubham, Damodar Reddy EDLA, Annushree BABLANI a Ramalingaswamy CHERUKU. Lie detection using extreme learning machine: A concealed information test based on short-time Fourier transform and binary bat optimization using a novel fitness function. *Computational Intelligence*. 2019, **36**(2), 637-658. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/coin.12256>
- [7] BABLANI, Annushree, Damodar Reddy EDLA, Venkatanareshbabu KUPPILI a Ramesh DHARAVATH. Lie Detection Using Fuzzy Ensemble Approach With Novel Defuzzification Method for Classification of EEG Signals. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2021, **70**, 2509413, 1-13. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/TIM.2021.3082985>
- [8] BABLANI, Annushree, Damodar Reddy EDLA a Shubham DODIA. Classification of EEG Data using k-Nearest Neighbor approach for Concealed Information Test. *Procedia Computer Science*. 2018, **143**, 242-249. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.392>

- [9] DODIA, Shubham, Damodar Reddy EDLA, Annushree BABLANI, Dharavath RAMESH a Venkatanareshbabu KUPPILI. An efficient EEG based deceit identification test using wavelet packet transform and linear discriminant analysis. *Journal of Neuroscience Methods*. 2019, **314**, 31-40. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2019.01.007>
- [10] BABLANI, Annushree, Damodar Reddy EDLA, Diwakar TRIPATHI a Venkatanareshbabu KUPPILI. An efficient Concealed Information Test: EEG feature extraction and ensemble classification for lie identification. *Machine Vision and Applications*. 2019, **30**, 813-832. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00138-018-0950-y>
- [11] MEHRNAM, A. H., A. M. NASRABADI, Mahrad GHODOUSI, A. MOHAMMADIAN a S. TORABI. A new approach to analyze data from EEG-based concealed face recognition system. *International journal of psychophysiology*. 2017, **116**, 1-8. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2017.02.005>
- [12] BABLANI, Annushree, Damodar Reddy EDLA, Venkatanareshbabu KUPPILI a Dharavath RAMESH. A multi stage EEG data classification using k-means and feed forward neural network. *Clinical Epidemiology and Global Health*. 2020, **8**(3), 718-724. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2020.01.008>
- [13] ALSUFYANI, Abdulmajeed, Omid HAJILOU, Alexia ZOUMPOULAKI, Marco FILETTI, Hamed ALSUFYANI, Christopher J. SOLOMON, Stuart J. GIBSON, Roobaea ALROOBAEA a Howard BOWMAN. Breakthrough percepts of famous faces. *Psychophysiology*. 2019, **56**(1), e13279. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/psyp.13279>
- [14] CHEN, Chao, Lingfeng FAN, Ying GAO, Shuang QIU, Wei WEI a Huiguang HE. EEG-FRM: a neural network based familiar and unfamiliar face EEG recognition method. *Cognitive Neurodynamics*. 2024, **18**. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11571-024-10073-5>
- [15] CHANG, Wenwen, Hong WANG, Chengcheng HUA, Qiaoxiu WANG a Yue YUAN. Comparison of different functional connectives based on EEG during concealed information test. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2019, **49**, 149-159. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2018.12.008>
- [16] TATUM, William O., Aatif M. HUSAIN, Selim R. BENBADIS a Peter W. KAPLAN. *Handbook of EEG interpretation*. New York: Demos Medical Publishing, 2008. ISBN 978-1-933864-11-2.
- [17] KRAJČA, Vladimír a Jitka MOHYLOVÁ. *Číslicové zpracování neurofyziologických signálů*. Praha: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04721-7.

- [18] PÁNEK, David. *Elektroencefalografické koreláty pohybového chování a výkonnostní zátěže*. Praha: Univerzita Karlova, Nakladatelství Karolinum, 2016. ISBN 978-80-246-3459-3.
- [19] LAI, Ying-Fang, Mu-Yen CHEN a Hsiu-Sen CHIANG. Constructing the lie detection system with fuzzy reasoning approach. *Granular Computing*. 2018, **3**, 169-176. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s41066-017-0064-3>
- [20] LIU, Peng, Hongkui SHEN a Shumei JI. Functional Connectivity Pattern Analysis Underlying Neural Oscillation Synchronization during Deception. *Neural Plasticity*. 2019, 2684821. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2019/2684821>
- [21] SAINI, Navjot, Saurabh BHARDWAJ a Ravinder AGARWAL. Classification of EEG signals using hybrid combination of features for lie detection. *Neural Computing and Applications*. 2020, **32**(8), 3777-3787. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04078-z>
- [22] ANWAR, Syed, Tahira BATOOL a Muhammad MAJID. Event Related Potential (ERP) based Lie Detection using a Wearable EEG headset. In: *2019 16th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST)*. IEEE, 2019, 543-547. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/IBCAST.2019.8667131>
- [23] LUKACS, Gaspar, Alicja GRZADZIEL, Marleen KEMPKES a Ulrich ANSORGE. Item Roles Explored in a Modified P300-Based CTP Concealed Information Test. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2019, **44**(3), 195-209. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10484-019-09430-6>
- [24] JAGANNATH, Mohan, K. ADALARASU a Keerthik R. DHIVYA. Neural correlates of guilt knowledge analysis using electroencephalographic technique. *The Journal of Forensic Psychiatry & Psychology*. 2022, **33**(2), 231-251. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/14789949.2022.2042360>
- [25] MARCELO, Cirach Anthony G., Zenina Rose B. PASQUIN, Arvin Dale T. PICHAY, Miguel Louis D. TAN, Ma. Fia Kristine N. SIMON, Seigfred V. PRADO, Charlene V. SAN a Marissa S. NICASIO. Characterization and comparison of brain wave signals during deception. *2017 IEEE 9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*. 2017, 1-6. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/HNICEM.2017.8269508>
- [26] Emotiv Insight 2.0: 5 Channel Mobile Brainwear [online]. *Emotiv*. © 2024 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://www.emotiv.com/insight/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.: EEG signály	11
Obr. 2.: Odezva P300	12
Obr. 3.: Schéma navržené metodiky pro detekci lži pomocí EEG.....	15
Obr. 4.: Porovnání přesnosti klasifikace na různých elektrodách	22
Obr. 5.: Porovnání metod výběru vlastností.....	22
Obr. 6.: Přesnost predikce finálního modelu	24
Obr. 7.: Průměrné hodnoty jednotlivých metrik výkonu	25
Obr. 8.: Srovnání současného přístupu se stávajícími studii.....	26
Obr. 9.: Aplikace pro detekci lži	27
Obr. 10.: Pracovní postup aplikace	28

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ANOVA	Analysis of Variance
BPF	Band-Pass Filter
CIT	Concealed Information Test
DT	Decision Trees
DWT	Discrete Wavelet Transform
EEG	Electroencephalography (Elektroencefalografie)
ERP	Event-Related Potential
GA	Genetic Algorithm (genetický algoritmus)
GUI	Graphical User Interface (grafické uživatelské rozhraní)
KNN	K-Nearest Neighbors
NB	Naive Bayes
PCA	Principal Component Analysis
SVM	Support Vector Machine

PUBLIKAČNÍ AKTIVITY AUTORA

Články ve sborníku z mezinárodních konferencí

- [P.1] ZABCIKOVA, Martina, Zuzana KOUDELKOVA a Roman JASEK. EEG-based lie detection using ERP P300 in response to known and unknown faces: An overview. In: *2022 26th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC)*, Crete, Greece. 2022, 11-15.
- [P.2] KOUDELKOVA, Zuzana, Martina ZABCIKOVA a Roman JASEK. Communication Tool for Disabled People Based on Surface Electromyography. In: *Proceedings of the 2020 4th International Conference on Medical and Health Informatics (ICMHI 2020)*. 2020, 86-89.
- [P.3] KOUDELKOVA, Zuzana, Martina ZABCIKOVA a Roman JASEK. Proposal of Hybrid BCI Applicable in Rehabilitation. In: *6th SWS International Scientific Conference on Social Sciences (SGEM 2019)*. 2019, 6(3), 637-642. ISBN 978-619-7408-93-5, ISSN 2682-9959.
- [P.4] KOUDELKOVA, Zuzana, Martina ZABCIKOVA a Roman JASEK. The sEMG Biofeedback: Controlling LEGO EV3 by Arduino Uno with sEMG. In: *6th SWS International Scientific Conference on Social Sciences (SGEM 2019)*. 2019, 6(3), 807-812. ISBN 978-619-7408-93-5, ISSN 2682-9959.
- [P.5] ZABCIKOVA, Martina. Visual and Auditory Stimuli Response, Measured by Emotiv Insight Headset. In: *23rd International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2019)*. 2019, 292.
- [P.6] ZABCIKOVA, Martina. Measurement of Visual and Auditory Stimuli Using EEG Headset Emotiv Epoc+. In: *23rd International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2019)*. 2019, 292.
- [P.7] KOUDELKOVA, Zuzana, Martina ZABCIKOVA a Roman JASEK. The Possibility of Using Diagnostic Methods EEG and sEMG in Rehabilitation. In: *5th International Conference on Computing and Artificial Intelligence (ICCAI'19)*. 2019, 240-243.

Články v časopisech evidovaných v databázi Web of Science a Scopus

- [P.8] ZABCIKOVA, Martina, Zuzana KOUDELKOVA a Roman JASEK. Concealed information detection using EEG for lie recognition by ERP P300 in response to visual stimuli: A review. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*. 2022, 19, 171-179. ISSN: 1790-0832.

- [P.9] ZABCIKOVA, Martina, Zuzana KOUDELKOVA, Roman JASEK a José Javier LORENZO NAVARRO. Recent advances and current trends in brain-computer interface research and their applications. *International Journal of Developmental Neuroscience*. 2022, **82**(2), 107-123.
- [P.10] ZABCIKOVA, Martina, Zuzana KOUDELKOVA a Roman JASEK. Examining the Efficiency of Emotiv Insight Headset by Measuring Different Stimuli. *WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*. 2019, **14**, 235-242. ISSN 1991-8747.
- [P.11] ZABCIKOVA, Martina, Zuzana KOUDELKOVA a Roman JASEK. Investigation of Emotiv Epoc+ Headset Usability by Measuring Various Stimuli. *WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*. 2019, **14**, 184-191. ISSN 1991-8747.
- [P.12] STRMISKA, Martin, Martina ZABCIKOVA a Zuzana KOUDELKOVA. Measuring Brain Signals Using Emotiv Devices. *WSEAS Transactions on Systems and Control*. 2018, **13**. ISSN 1991-8763.

Ostatní publikace

- [P.13] ŽABČÍKOVÁ, Martina, Zuzana KOUDELKOVÁ a Roman JAŠEK. Možná využití modelování a simulace v Brain-Computer Interface systémech. *Trilobit*. 2021.
- [P.14] JAŠEK, Roman, David MALANÍK, Milan OULEHLA, Petr ŽÁČEK, Lukáš KRÁLÍK, Zuzana KOUDELKOVÁ, Vít ŠTĚPÁNEK, Roman ŠENKEŘÍK, Zuzana KOMÍNKOVÁ OPLATKOVÁ, Bronislav CHRAMCOV, Peter JANKŮ, Pavel VAŘACHA, Radek VALA a Martina ŽABČÍKOVÁ. *Řízení procesů a aplikace moderních technologií – Kybernetická bezpečnost*. 2019.
- [P.15] JAŠEK, Roman, Bronislav CHRAMCOV, Zuzana KOUDELKOVÁ, Peter JANKŮ, Zuzana KOMÍNKOVÁ OPLATKOVÁ, Pavel VAŘACHA, Vít ŠTĚPÁNEK, Jan KOLEK, Alžběta TUREČKOVÁ, Martina ŽABČÍKOVÁ, Adam VIKTORIN a Jana KORZENIOWSKA. *Řízení inteligentních systémů pomocí technologie Brain Computer Interface a Brain Machine Interface jako fyzioterapeutické metody v klinické praxi*. 2019.
- [P.16] KOUDELKOVÁ, Zuzana, Martina ŽABČÍKOVÁ, Michal FILIP, Roman JAŠEK, Martin STRMISKA, Bronislav CHRAMCOV, Peter JANKŮ, Vít ŠTĚPÁNEK, Pavel VAŘACHA, Šárka DAŇKOVÁ, Irena CHMELOVÁ a Petr LINZER. Perspektivy využití technologie BCI (Brain Computer Interface) ve fyzioterapii. *Trilobit*. 2018, 9(2). ISSN 1804-1795.

ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA

OSOBNÍ ÚDAJE

Ing. Martina Žabčíková

✉ zabcikova@utb.cz

📅 15. 3. 1993



VZDĚLÁNÍ

2018 – SOUČASNOST

Ph.D. | UTB VE ZLÍNĚ / FAKULTA APLIKOVANÉ INFORMATIKY

2016 – 2018

Ing. | UTB VE ZLÍNĚ / FAKULTA APLIKOVANÉ INFORMATIKY

2012 – 2016

Bc. | UTB VE ZLÍNĚ / FAKULTA APLIKOVANÉ INFORMATIKY

2008 – 2012

Maturita | SPŠS VALAŠSKÉ MEZIRÍČÍ

PRACOVNÍ ZKUŠENOSTI

10/2022 – SOUČASNOST

Výzkumný projektový pracovník | UTB VE ZLÍNĚ / FAI

Rekonstrukce scénáře bezpečnostního incidentu v prostředí virtuální reality

07/2017 – 11/2017

IT tester, IT analytik | BUSINESS LOGIC

IT projekty. Testování webů, práce s databází SQL, vytváření wireframe.

AKADEMICKÁ STÁŽ

09/2019 – 12/2019

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

PROJEKTY

2022 – 2025

VJ02010043 (MVČR)

2023 – 2025, 2022, 2021, 2020, 2019

INTERNÍ GRANTOVÁ AGENTURA (IGA)

CERTIFIKÁTY

2022, 2019

INTERNATIONAL CONFERENCE OF WSEAS – INASE – CSCC

2024, 2022

THE WORKSHOP ON APPLIED INFORMATICS

2018

UTB VE ZLÍNĚ / Kurz anglického jazyka se spol. R. Bosch České Budějovice

Ing. Martina Žabčíková, Ph.D.

**Rozpoznávání skrytých informací k určení intencionální lži
pomocí elektroencefalografie**

Detecting Concealed Information to Identify Intentional Deception Using
Electroencephalography

Teze disertační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín.

Náklad: vyšlo elektronicky

Sazba: autor

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Pořadí vydání: První

Rok vydání 2024

ISBN 978-80-7678-293-8

