

doc. Ing. Klára Antlová, Ph.D.
katedra informatiky
Ekonomická fakulta
Technická univerzita v Liberci

Oponentský posudek disertační práce:

Biometrické rozpoznávání osob využívající termálních charakteristik ruky

Autor: Ing. Kateřina Příhodová

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Ústav systémového inženýrství a informatiky
Školitel: doc. Ing. Miloslav Hub, Ph.D.

Rozsah disertační práce: 125 stran textu + přílohy.

Cíle práce, aktuálnost tématu a jeho významu pro obor

Cílem předkládané disertační práce je návrh a ověření nového způsobu biometrického rozpoznávání osob s využitím termálních charakteristik ruky v kombinaci s dalšími běžně používanými metodami rozpoznávání osob. Vzhledem k tomu, že bezpečnost a ochrana nejen informačních systémů jsou v poslední době čím dál aktuálnější, přispívá zvolený cíl práce významnou měrou k vědeckému přínosu dané problematiky a rovněž má přínos i pro program Aplikovaná informatika.

Postup řešení, použité metody, splnění cílů

Vzhledem k tomu, že v současné době často využívané biometrické systémy rozpoznávání osob založené na otiscích prstů mají určité slabiny (např. nedostatečná kvalita vstupních dat nebo světelné podmínky), tak se autorka zaměřila na využití termálních charakteristik ruky v kombinaci s běžně používanými charakteristikami ruky.

Autorka ve své práci nejdříve analyzovala podrobně současný stav v oblasti biometrického rozpoznávání včetně historického vývoje, uvádí jednotlivé metody rozpoznání biometrických prvků, až po současné moderní přístupy. Součástí první kapitoly je i detailní literární rešerše, kterou považuji za dostatečnou a vypovídající. Ve druhé kapitole jsou uvedeny vlastní cíle práce a třetí kapitola už zmiňuje různé ukazatele výkonnosti jednotlivých modelů biometrické identifikace. Čtvrtá kapitola je věnována multi-biometrickým systémům a na základě této analýzy je zvoleno řešení pro tuto disertační práci. Podrobný postup autorčina výzkumu je uveden v páté kapitole. Šestá kapitola popisuje jednotlivé metody konvolučních neuronových sítí, jejichž použití je vhodné pro dosažení vytyčeného cíle. Sedmá kapitola popisuje způsob získání dat pro zvolený experiment a ten je pak detailně popsán v osmé a především v deváté kapitole. Výsledky experimentů uvádí desátá kapitola. Autorka zde testovala dva přístupy k vytvoření multi-biometrického systému s fúzí na úrovni senzoru. První přístup byl testován

pomocí předtrénovaného modelu konvoluční neuronové sítě AlexNet a dále druhý přístup, který byl testován v kombinaci s lineární diskriminační analýzou. Tyto autorčiny výsledky prokazují, že autorka splnila výše uvedené cíle disertační práce.

Stanovisko k výsledkům disertační práce a původnímu konkrétnímu přínosu

V řešení předkládané disertační práce, kterým je návrh modelu multi-biometrického systému založeného na hlubokém učení, lze spatřovat jak teoretické, tak i ekonomické přínosy. Ty jsou ostatně zmíněny v 11 kapitole. Autorka rovněž vytvořila rozsáhlou datovou sadu vhodnou k ověření nového způsobu biometrického rozpoznávání osob.

Vyjádření k formální úpravě, jazykové úrovni, systematickosti, přehlednosti disertační práce

Předkládaná práce je přehledně zpracována, je logicky členěna, dobře se čte a také obsahuje řadu vypovídajících tabulek, srovnání jednotlivých metod řešení, obrázků a grafů. Literární rešerše je dostatečná. Formální úprava práce je na dobré úrovni a odpovídá nárokům kladeným na tento typ prací.

Závěr

Z celkem bohaté publikační činnosti vyplývá, že se autorka disertační práce dané problematice věnuje dlouhodobě a rovněž pracovala na řadě interních projektů fakulty.

Práci lze jako celek hodnotit pozitivně, autorka prokázala schopnost samostatné vědecké práce a zvládnutí postupů, které to umožňují. Kromě schopnosti aktivně pracovat s informačními prameny, je v disertační práci prokázána vlastní metodická systematickosti postupu a vlastní zkušenosti, což dává předpoklady k dalšímu vědeckému a odbornému růstu doktorandky.

Doporučuji tuto disertační práci k obhajobě (dle § 47 zákona č. 111/1998 Sb.) a v případě úspěšné obhajoby navrhuji, aby byl Ing. Kateřině Příhodové udělen titul doktor (PhD.) před příslušnou komisí programu Aplikovaná informatika.

Otázky do diskuse:

Uveďte, v čem spatřujete největší úskalí nebo případně omezení Vámi navrhovaného řešení?

V Liberci dne 20.5.2022

doc. Ing. Klára Antlová, Ph.D.



Posudek doktorské disertační práce

Autorka práce:	Ing. Kateřina Příhodová
Název práce:	Biometrické rozpoznávání osob využívající termální charakteristiky ruky
Školitel:	doc. Ing. Miloslav Hub, Ph.D.
Studijní obor:	Aplikovaná informatika
Oponent:	prof. Ing. Vladimír Bureš, Ph.D., MBA, Fakulta informatiky a managementu, Univerzita Hradec Králové

Předložená disertační práce se věnuje tématu bezpečnosti, konkrétně pak autentizaci za pomoci biometrických metod. Autorka práce zaměřuje pozornost na biometrii ruky a především na aplikaci různých přístupů z oblasti strojového nebo hlubokého učení, které by dokázaly vhodně pracovat s daty získanými ze dvou typů snímků. Tímto vytváří multi-biometrický systém, který představuje hlavní cíl práce.

Disertační práce má svá pozitiva. Příkladem může být použitá literatura, která ač v Obsahu chybí, je založena na množství informačních zdrojů, které jsou řádně citované v textu a zároveň se jedná o kvalitní a aktuální studie. Velmi pozitivně je třeba hodnotit vytvoření vlastní datové sady, která není malá nebo detailní popis HW nastavení pro sběr dat, což umožní celkem dobře případnou replikaci výzkumu.

Práce obsahuje drobné nedostatky, které zde uvedu jen z důvodu úplnosti. Jedná se o tradiční chyby spojené s tvorbou rozsáhlého textu jako např. „Někteří ukazatelé“ – str. 41; „...porovnat více modelů mezi sebou“ – str 43; použití minulého i budoucího času zároveň „rozdělení dat...bylo provedeno“ str. 50 vs. „rozdělení bude v poměru“ na Obrázku 10 na str. 51. Občas je některá část textu redundantní. To je pravděpodobně částečný důsledek níže uvedeného nedostatku spojeného se strukturou práce (např. cíle práce jsou zopakovány vícekrát, až se toto jeví jako zbytečné). V práci jsou dobře používané a vysvětlené zkratky. Nicméně není asi nutné vysvětlovat název SW nástroje – MATLAB, který navíc nemá český ekvivalent. V některých případech je pojem použitý pouze jednou, avšak zkratka je zbytečně zavedená (např. RBM – Omezený Boltzmannův stroj). Zkratka ROI je zase zavedena dvakrát v jednom odstavci (str. 33-34). Zkratka BDM je definovaná na str. 36 a zároveň v tab. 15, a přitom je zkratka v textu použita jen třikrát. Někde bylo možná lepší nechat originál a vyhnout se používání českého překladu, který nemusí být jednotný, jako v případě SVM, která je v práci definovaná jako „podpůrné vektorové stroje“, což zní trochu jako mechanický překlad, zatím se běžně používá označení Metoda podpůrných vektorů.

Struktura práce je pochopitelná, nicméně celkem plochá. Na 81 stranách vlastního textu je 12 nadpisů první úrovně, což představuje přibližně jednu hlavní kapitolu na 7 stran. Vhodnější strukturování by prospělo čitelnosti práce a orientaci v ní. Zásadně by toto mohl vylepšit například způsob, jakým je představena



metodická část práce. Metodika a její postup je nepřírozně distribuovaná v textu na různých místech. Každá část pochopitelně popisuje jinou část nebo jiný pohled na metodiku tvorby, nicméně sjednocení do jedné části by přehlednost významně zvýšilo. Byla by také lépe vidět provázanost mezi jednotlivými kroky výzkumu. Druhá kapitola obsahuje 6 bodů obecného postupu, poté pátá kapitola postup výzkumu na odstavce a jeden obrázek a následně šestá kapitola popisuje vhodné metody, které by byly vhodné spíše do teoretické části. Osmá kapitola je pak typicky metodická, jelikož popisuje HW a SW použitý k testování. I zde je obdobný problém, poněvadž je popis rozdělen do více částí (kamera v jedné kapitole, použitý PC v následující atd.). Někde naopak popis postupu chybí, např. není jasné, jak autorka vytvořila Tabulku 2 – je/není úplná a proč, kde byl obsah vyhledaný a jak, proč jen některé studie, jaká byla kritéria porovnání atd. Této tabulce je v podstatě věnována celá část 1.7 bez poskytnutí detailů tvorby nebo úmyslu toto nějak dále použít.

S popisem metodiky také souvisí popis různých metod, technik nebo algoritmů, které je v práci distribuovaný na více místech. Například, v kapitole 3 je nabídnut popis metod, který autorka doprovází slovy „které lze použít“. Vhodné by bylo zdůvodnění při jejich popisu, proč jsou nebo nejsou pro tuto práci dobrou alternativou už jen proto, že seznam není rozhodně kompletní. Představení metod je pochopitelně patřičně zařazeno a je smysluplné. Nicméně tento doplněk podobný tomu, který je v kap. 6.2.1, by významně zvýšil význam kapitoly. Navíc detailnější a více technický popis by také nebyl na škodu.

Autorka práce vhodně definuje v kapitole 1.8 výzvy, které ve studované oblasti existují. Definovány jsou celkem srozumitelně. Způsob jejich odvození je však neznámý. Výčet by měl vyplývat z předchozího textu, avšak odkazy na předchozí kapitoly nebo zdroje nejsou uvedeny. Alternativní přístup, a možná vhodnější, by bylo explicitně popsat výzvy v kapitolách a zde by byla pouze sumarizace. V použité formě musí čtenář vnímat vše mezi řádky nebo jednoduše věřit, že vše z předchozího textu plyne. Např. z tabulky 2 by se dala odvodit poslední výzva související s malými datovými sadami. Avšak autorka v této kapitole nic detailnějšího o sadách neuvádí (např. co je stále málo, co už je dostatečné apod.), ačkoliv je to jeden ze sloupců, který sama vytvořila.

Je chvályhodné, že autorka neopomněla nabídnout další směry výzkumu, kterými je možné pokračovat. Škoda jen, že takto neprezentuje také limitace práce, která by další pokrok mohla ztížit nebo dokonce zastavit. Zároveň by tím prokázala značnou míru vzhledu do problémů studia tohoto tématu. Jasné také není, proč je zaměření na další výzkum zaměřeno v podstatě pouze na určení pohlaví. Další směry je zcela jistě více. Ačkoliv autorka uvádí, že tato data „nejsou samozřejmostí“ str. 77, v tabulce 7 je obsahují tři datasey z pěti. S tímto související vědecký přínos uvedený jako čtvrtý na seznamu diskutabilní, jelikož primárně práce toto neřeší.

Tímto se dostáváme k popisu přínosů práce. Obecné přínosy jsou zjevné. Avšak váhám u některých z přehledu aplikačních přínosů ve smyslu, jak vnímám slovo přínos, tedy novou charakteristiku. V kapitole 12.2. jsou pouze popsány



charakteristiky multi-biometrického ověřování, které jsou již běžně používány. Oproti existujícím alternativám tak originální aplikační přínos práce nepřináší. Také ostatní multi-biometrické systémy jsou lepší než uni- alternativy, sensorová fúze je výpočetně nenáročná u všech. Jistěže, tyto charakteristiky představují výhodu při praktické aplikaci, ale přínos práce jako takové to není. Větší přesnost nebo možnost aplikace za snížených světelných podmínek jsou však bezpochyby vhodně deklarované.

Otázky

1. Jaké problémy lze očekávat při implementaci a následném užití systému v praxi (legislativní, procesní, finanční atd.)
2. Zkoušela jste systém testovat na různých kombinacích dostupných technik a algoritmů nebo jste použila pouze jednu kombinaci v rámci jednoho výběru? Proč?

Závěrečné doporučení

Novost a originalita ve sloučení běžných a termo snímků u biometrie ruky je nepochybná. To vnímám jako zásadní přínos práce, který se dle mého názoru nepodařilo autorce v práci dostatečně vyzdvihnout a prodat. Každopádně je to přesně to, co dělá práci kvalitní a hodnou obhajoby před zkušební komisí. Disertační práci Ing. Kateřiny Příhodové proto **DOPORUČUJI** k obhajobě před komisí pro obhajoby doktorských disertačních prací.

V Hradci Králové, 17. 5. 2022



Digitálně podepsal
prof. Ing. Vladimír
Bureš, Ph.D., MBA
Datum: 2022.05.17
14:35:07 +02'00'

Vladimír Bureš



POSUDOK ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Téma: Biometrické rozpoznávaní osob využívajúci termálnych charakteristik ruky

Typ záverečnej práce: Dizertačná práca

Študijný program: Aplikovaná informatika

Autor: Ing. Kateřina Příhodová

Oponent: prof. RNDr. Michal Munk, PhD.

Práca sa zaoberá biometrickými systémami, konkrétne termálnymi charakteristikami ruky, ktoré používa za účelom rozpoznávania osôb. Tieto charakteristiky sú dostupné takmer u všetkých osôb, otázkou je, či sú aj dostatočne heterogénne u rôznych osôb a naopak homogénne u jednej osoby, čo predstavuje základné predpoklady pre spoľahlivosť daného systému. Téma práce je aktuálna aj vzhľadom na skúsenosti s pandémiou a následnou kontrolou, resp. detekciou osôb.

Práca je prehľadná, veľmi dobre čitateľná, pomerne náročná problematika je zrozumiteľne popísaná.

V teoretickej časti práci sa autorka stručne venuje vývoju biometrických systémov na báze ruky. Hlbšie sa venuje klasickým systémom, kde popisuje celý proces rozpoznávania od získavania, cez spracovanie, extrakciu, porovnanie až po rozhodnutie. Bližšie sa venuje metódam porovnania s biometrickou šablónou a to hlavne štatistickým (vzdialenosti, miery zhody/závislosti, GMM, ..) a metódam strojového učenia skôr prehľadovo. Táto časť predstavuje dobrý úvod do skúmanej problematiky tým, že autorka približuje celý proces rozpoznávania osôb na báze ruky. Druhá časť teoretickej časti práce sa už priamo dotýka riešenej problematiky a zameriava sa na využívanie infračerveného žiarenia v biometrických systémoch. V tejto časti by som vyzdvihol sumarizáciu štúdií zameraných na biometrické systémy na báze ruky. Teoretická časť je ukončená kapitolou sumarizujúcou nevyriešené problémy v oblasti biometrických systémov na báze ruky.

V analýze súčasného stavu pozitívne hodnotím prehľadne zosumarizované štúdie ako aj rozsah použitých zdrojov.

V ďalšej časti práce je definovaný cieľ práce, pričom autorka vychádza z analýzy súčasného stavu, ktorá ukázala, že je potrebné kombinovať termálne charakteristiky ruky s bežne používanými pri biometrickom rozpoznávaní osôb. Vo všeobecnosti sa dá predpokladať, že väčší počet premenných prispeje k lepšiemu vysvetleniu skúmanej premennej. Autorka si definovala úlohy potrebné na dosiahnutie stanoveného cieľa, ktorých chronologické riešenie predstavuje metodiku práce od identifikácie potrebných premenných až po evalváciu vytvoreného modelu.

Úlohy vyplývajúce z cieľa práce sú podrobne rozpísané a riešené v ďalšej časti práce. Oceňujem presnú a jasnú formuláciu ako aj realnosť jednotlivých úloh (čiastkových cieľov), ktorých riešenie viedlo k naplneniu stanoveného cieľa práce.

V praktickej časti práce autorka popisuje štandardné (Acc, AUC, ..) ako aj špecifické (FRR, FAR) miery správnosti predikcie/klasifikácie na evalváciu biometrických systémov. Z hľadiska získavania znalostí ide o riešenie úlohy klasifikácie. V ďalšej časti práce autorka pojednáva o multi-biometrických systémoch, tzn. kombinujúcich viaceré zdroje, tak ako to vyplýva zo stanoveného cieľa práce. Ďalej autorka stručne popisuje metodiku výskumu a použité metódy, kde autorka podrobne popisuje hlboké neurónové siete, konkrétne konvolučné neurónové siete (AlexNet, GoogLeNet, VGG-16, VGG-19), pri ktorých nie je nutné extrahovať premenné a metódy klasifikácie, pri ktorých sa predpokladá extrakcia premenných – štatistické (diskriminačná analýza, ..) ako aj metódy strojového učenia (rozhodovacie stromy, k-NN, SVM, ..), pričom extra pozornosť venuje ensemble metódam (náhodný les, ..), ktoré kombinujú viaceré modely. V ďalšej časti popisuje vytvorený dataset, ktorý je pomerne rozsiahli a určite ho môžeme považovať za jeden z prínosov práce. Ďalej špecifikuje použité hardvérové a softvérové prostriedky.

Chronológia týchto kapitol nie je zrovna najšťastnejšia, autorka začína mierami evalvácie výsledkov, následne prechádza k popisu systému, metodike, použitým metódam, popisu datasetu a k použitým prostriedkom. Tu by bolo vhodnejšie postupovať štandardne ako pri získavaní znalostí.

Predpokladal som, že 10 000 snímok sa bude viazať s väčším počtom osôb. Prečo bolo nutné od každej osoby získať až 200 snímok?

Kľúčovými kapitolami praktickej časti práce sú kapitola 9 a 10, v ktorých autorka popisuje navrhovaný multi-biometrický systém, resp. dva prístupy, ktoré využívajú multi-biometrický systém a výsledky experimentov. Prístupy a metódy boli porovnané prostredníctvom 5-násobnej krížovej validácie a mier správnosti predikcie/klasifikácie (Acc, AUC). Pozitívne hodnotím, že sa autorka zamerala na evalváciu aj z hľadiska časovej zložitosti. Nechýba experimentálne porovnanie multi-biometrického a uni-biometrického systému aj keď výsledok

je zjavný, pri väčšom počte premenných dosiahneme vyšší príspevok k vysvetleniu skúmanej premennej. V závere autorka sumarizuje výsledky voči predchádzajúcim štúdiám a kvalitatívnu analýzu chýb.

Predpokladám, že v tabuľkách 8-10 sú agregované hodnoty (pravdepodobne priemerom), vzhľadom na 5-násobnú krížovú validáciu. Vzhľadom na prítomnosť vnútroskupinových a medziskupinových faktorov ide o celkom zaujímavý experimentálny dizajn (napr. Tabuľka 14). Neuvažovali ste zachytiť aj variabilitu, resp. identifikovať štatisticky významné rozdiely, resp. homogénne skupiny z hľadiska výkonu použitých metód a ďalších faktorov?

V posledných kapitolách autorka naznačuje ďalšie smerovanie výskumu zamerané na rozpoznávanie demografických charakteristík osôb a prináša prvé výsledky v rozpoznávaní pohlavia osôb. Pričom autorka používa obdobné postupy a podobne ako v predchádzajúcich prípadoch rieši úlohu klasifikácie z hľadiska získavania znalostí. V poslednej kapitole autorka vecne popisuje prínosy dizertačnej práce z hľadiska vedeckého a aplikačného.

Celkovo prácu hodnotím ako veľmi dobrú, práca pôsobí transparentne z hľadiska získania, predspracovania, modelovania ako aj vyhodnotenia a porovnania výsledkov. O čom svedčia aj publikačné výstupy autorky.

Práca splňa požiadavky kladené na tento typ záverečnej práce a prácu odporúčam v predloženej podobe obhajovať a po jej úspešnej obhajobe navrhujem, aby Ing. Kateřine Příhodovej bol udelený akademický titul Philosophiae Doctor (PhD.) v študijnom programe Aplikovaná informatika.

V Nitre, 20.05. 2022



prof. RNDr. Michal Munk, PhD.

