

Neuroinformatika a sdílení dat z lékařských zobrazovacích systémů

Neuroinformatics and sharing data from medical imaging
systems

Martin Klimek¹, Daniel Schwarz²

sklime23@stud.feec.vutbr.cz, schwarz@iba.muni.cz

¹Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně

²Masarykova univerzita, Institut biostatistiky a analýz.

Abstrakt: Článek se zabývá problematikou skladování a sdílení primárních neurozobrazovacích dat. Článek obsahuje mj. organizační a inforatické aspekty sdílení obrazových dat v multicentrických studiích s obrazy mozku z magnetické rezo-nance. Součástí článku je i technické řešení sdílení dat včetně návrhu webového rozhraní pro práci s obrazovými daty v databázi.

Abstract: This article discusses the matter of medical imaging data sharing and storing. Administrative and informatics aspects of medical imaging systems data in multicentric studies including MRI brain images and technical design of a web-based application for image data sharing including a web interface suitable for manipulation with the image data stored in a database are also dealt in this paper.

Neuroinformatika a sdílení dat z lékařských zobrazovacích systémů

Martin Klimek¹, Daniel Schwarz²

¹Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT
Ústav biomedicínského inženýrství, Kolejní 4, 612 00 Brno
Email: xklime23@stud.feec.vutbr.cz

²Masarykova univerzita, Institut biostatistiky a analýz
Email: schwarz@iba.muni.cz

Abstrakt – Článek se zabývá problematikou skladování a sdílení primárních neurozobrazovacích dat. Článek obsahuje mj. organizační a inforatické aspekty sdílení obrazových dat v multicentrických studiích s obrazy mozku z magnetické rezonance. Součástí článku je i technické řešení sdílení dat včetně návrhu webového rozhraní pro práci s obrazovými daty v databázi.

1 Úvod

V dnešní době představují lékařské zobrazovací modalita širokou škálu metod využívajících různých principů k vytvoření obrazu vyšetřované části pacienta. Do sféry zdravotnictví každý den pronikají nové technologie z počítačové a komunikační oblasti, aby mohly uspokojit stále rostoucí požadavky a kladené nároky. Předkládaný článek se zaměřuje na oblast radiodiagnostiky, především pak na problematiku týkající se technické a organizační práce s obrazovou dokumentací z magnetické rezonance, kde se v posledních letech rychle zvyšuje množství obrazových medicínských informací, které vznikají a ukládají se v elektronické podobě.

Jednou z mnoha lékařských disciplín, ve kterých se digitálních obrazových dat hojně využívá, je i psychiatrie. Studium souvislostí mezi anatomickými změnami na mozku a různými neuropsychiatrickými poruchami jako jsou schizofrenie, Alzheimerova choroba či různé formy demence se stalo v posledním desetiletí středem zájmu mnoha psychiatrických kongresů a vědeckých článků v tomto oboru. Na rozdíl od jiných onemocnění či úrazů, morfologické změny v MRI obrazech mozku nejsou v případě neuropsychiatrických poruch patrné na první pohled, a to ani zkušeným pohledem odborníka. Jejich detekce je zpravidla výsledkem statistického porovnání obrazů skupiny pacientů a skupiny zdravých dobrovolníků [1][2].

2 Sdílení dat

S postupem času jsme zaznamenali mohutný nástup internetu jako významného informačního média, kdy se začala vytvářet zcela nová koncepce poskytovaných služeb. Rychlá a přesná diagnostika, okamžité zpracování a distribuce informací lékaři, možnost konzultace diagnostických závěrů se specializovanými pracovišti, právě z tohoto důvodu vznikají na internetu tzv. digitální úložiště dat, která můžeme charakterizo-

vat jako systematicky organizovaný a spravovaný soubor převážně elektronických zdrojů, tj. digitálních dokumentů či dokumentů, které byly do digitální podoby převedeny, a to vše s odpovídajícími elektronickými službami [3][4].

Cílem se stává vybudovat společný archív digitálních medicínských dat, který by zaručoval rychlou dostupnost pro lékaře a možnost vzdálené spolupráce více lékařů přes internet. Dalším významným prvkem aktivit v oblasti medicínských dat je také využití technologií pro výukové a výzkumné spektrum dané oblasti. Databázi dat lze při dodržení velice striktních pravidel anonymizace (viz 4.3) dále využívat pro podporu začínajících lékařů či studentů medicíny a příbuzných oborů [5]-[7].

3 Struktura a bezpečnost dat

Dle aktuální legislativy ČR platí, že všechna zdravotnická zařízení jsou povinna vést zdravotnickou dokumentaci (tento právní stav platí v plném rozsahu pro všechna zdravotnická zařízení od roku 2001 a zároveň dle zákona o ochraně osobních údajů vystupuje zdravotnické zařízení jako správce a zpracovatel osobních údajů). Lékařská zařízení jsou proto v této souvislosti povinna přijmout taková opatření, aby nemohlo dojít k neoprávněnému nebo nahodilému přístupu k osobním údajům, k jejich změně, zničení či ztrátě, neoprávněným přenosům, k jejich jinému neoprávněnému zpracování, jakož i k jinému zneužití [8].

3.1 Klinické registry

Klinické registry systematicky sbírají všechny informace týkající se zdraví sledovaných jedinců. Je nutné zdůraznit, že klinický registr (na rozdíl od klinické studie, které jsou prováděny z důvodu testování bezpečnosti nebo efektivity nového terapeutického procesu či léku) sbírá data přímo z praxe [9]. Elektronický registr bývá zpravidla založený na počítačové databázi, která musí být dostatečně dimenzována na špičkové zatížení a současně musí splňovat přísná bezpečnostní kritéria. Klinické registry se v medicíně využívají především tam, kde je nutné provádět studie velkého počtu pacientů. Tyto studie jsou zvláště účelné při výzkumu tzv. komplexních chorob, mezi které mj. patří většina psychiatrických poruch. Přestože se jedná o nemoci, které svým výskytem patří mezi relativně časté, nejsou jejich příčiny vzniku přesně známy. Primárním

účelem klinických registrů je analýza, zda se jedná o statisticky významné informace pro studium těchto nemocí [10].

3.2 Archivy klinických obrazových dat

Mezi základní požadavky budování digitálních medicínských archívů patří zejména vývoj kvalitních systémů pro archivaci, což je umožněno především díky velkému nárůstu kapacity skladovacích technologií a díky rostoucí přenosové rychlosti internetu. Možnost dále zpracovávat archivovaná data (analýza, filtrování, komprese) byl jedním ze základních důvodů zavedení digitalizace [11].

3.2.1 PACS

Systémy PACS (Picture Archiving and Communication Systems) se snaží o integraci všech potřebných patientských údajů a zajištění jednoduchého přístupu k těmto informacím nezávisle na datu a místě jejich pořízení. Činnost každého systému PACS lze rozdělit na akvizici, zpracování, archivaci a distribuci obrazů [12].

3.2.2 DICOM

Rostoucí využití počítačů v klinické praxi vyvolalo potřebu standardizovat přístup k obrazové informaci. Vytvořením datového standardu DICOM došlo ke splnění jedné z nejdůležitějších podmínek fungování komunikace v systému PACS všech spolupracujících komponentů mezi zdravotnickými zařízeními [13].

3.2.3 NIFTI

NifTI-1 pojmenovaný podle stejnojmenné iniciativy (Neuroimaging Informatics Technology Initiative) je datový formát, který se snaží o zjednodušení výměny obrazových dat mezi analytickými balíčky a zároveň se snaží rozšířit funkce souborového formátu ANALYZE™ 7.5, který pracuje s obrazovými databázemi [14].

4 Databáze pro multicentrický sběr

Cílem naší práce byl návrh webového rozhraní, které bude sloužit pro sběr a organizaci práce s obrazovou dokumentací pořízenou z magnetické rezonance v rámci multicentrické studie orientované na moderní psychiatrický výzkum. Přestože je v České republice provozována celá řada klinických registrů, není známo, že by tyto registry disponovaly rozhraním pro sběr medicínských obrazů.

Pro vytvoření výsledné webové aplikace pro registraci zdravotnické dokumentace byl použit skriptovací jazyk PHP, pro databázi pak relační databázový server MySQL. Struktura vytvořeného systému je uvedena v implementačním diagramu, který popisuje, ze kterých dílčích částí se vytvořený produkt skládá a determinuje vztahy mezi těmito komponentami.

V projektu bylo dále využito kódování nemocí dle MKN-10. Velkou výhodou kódování MKN je jednoduchost a snadné použití. Využití v klinické praxi je ovšem ne vždy optimální, protože často potřebuje lékař zadat přesnější diagnózu, aby nedošlo k nejednoznačnosti vyplněného záznamu. Alternativou zmíněného kódování diagnóz se stalo vytvoření kódování diagnózy pomocí stromové struktury. Výhodou konstrukce diagnostické věty pomocí stromové struktury je fakt, že vytvořená věta může obsahovat i údaje, které nejsou v původní větě lékařem zmíněny, ale v počítačovém kódu existují. Nevýhodou stromového kódování je fakt, že se jedná o nestandardní kódování. Ve zdravotnictví České republiky je povinné pouze kódování dle MKN. Kódování pomocí stromové struktury je nestandardní a v českém zdravotnictví se používá jen výjimečně. Kódování pomocí SNOP je doporučeno pouze pro patologická pracoviště ČR. Kódování SNOMED je používáno především v USA, v ČR se nepoužívá. Jelikož primárním cílem předkládané práce bylo vytvořit webové rozhraní pro sběr obrazových dat, kde by detekce morfoloogických změn v MRI obrazech mozku byla dána výsledkem statistického porovnání více obrazů, bylo v praktické části vybráno právě kódování dle MKN. Pro statistické účely je klasifikace diagnóz dle MKN plně vyhovující [15].

4.1 Webové rozhraní

Webové rozhraní slouží jako primární nástroj pro výměnu informace mezi uživatelem a počítačem přes připojenou síť (ať už Internet nebo Intranet pro lokální síť). Pro práci se sdílenými daty, mohou být využity desktopové aplikace, které komunikují s centrální databází. Nevýhodou těchto aplikací je, že aktualizace serverové části často vyžaduje i kompletní aktualizaci všech pracovních stanic s klientským programem, což zvyšuje provozní náklady. Nespornou výhodou webových rozhraní, zohledněnou v této práci, je fakt, že tato rozhraní vyžadují pro zadávání a editaci dat ze strany klienta výhradně webový prohlížeč. Veškerý provoz včetně údržby v zásadě probíhá na straně poskytovatele provozovaného softwaru. Pro názorný popis dynamických aspektů vytvořeného systému je na obrázku č. 1 (viz. příloha) zobrazen diagram aktivit. Tento diagram graficky znázorňuje sekvenci stavů, ke kterým při používání aplikace dochází a zároveň znázorňuje podmínky pro jednotlivé přechody mezi stavy.

4.2 Sběr 3-D obrazových dat

Při použití formátu DICOM vzniká v rámci vyšetření pacienta velký soubor jednotlivých snímků. V zájmu eliminace zdlouhavého nahrávání jednotlivých snímků, byl vytvořen elektronický formulář pro sběr snímků komprimovaných do jednoho souboru ZIP. Sběr velkého počtu snímků z MR vyšetření je zabezpečen pomocí naprogramované komponenty pro sběr souborů ve formátu ZIP, které jsou po nahrání na server automaticky dekomprimovány a uloženy pod příslušnou složku pacienta. U formátu NifTI tento problém odpadá, stačí nahrát jeden soubor formátu NifTI.

4.3 Bezpečnostní aspekty a ochrana osobních údajů

Jelikož je striktně dáno, že vztah lékař-pacient v žádném případě nesmí být narušen a veškeré informace získané v rámci něj musejí být řádně zabezpečeny, hrají bezpečnostní aspekty webové aplikace a její vedené dokumentace klíčovou roli. Přístup k datovému centru přes internet bude umožněn pouze po provedení autorizace, která by měla výrazně eliminovat přístup nežádoucích osob. Technicky je v dnešní době mnoho variant, jak zabezpečit přihlášení do internetové aplikace – zde byla využita autorizace pomocí uživatelského jména a hesla. Po ověření komunikujících stran, může uživatel připojený k serveru přejít k úpravě, ukládání či transferu dat. Další potenciální místo útoku může být právě internetová cesta, po které data putují při provádění vybraných úkonů. Zde je nutno zabezpečit, aby nebylo reálné komunikaci mezi klientským počítačem a serverem zachytit a přenášená data přečíst či dokonce pozměnit. Abychom mohli této hrozbě zamezit, musí být data proudící oběma směry šifrována. Pro tyto účely zabezpečení byl pro šifrování použit protokol SSL (Secure Sockets Layer), který k zajištění zabezpečené komunikace na úrovni klient – server využívá kombinaci šifrovacích algoritmů.

Další hlavní částí projektu byla anonymizace lékařských dat. Anonymizaci dat můžeme do jisté míry chápat jako protiklad pojmu identifikace. Dle úrovně řešení anonymizace adresných dat mezi dvěma subjekty správce dat (universita) a poskytovatel dat (nemocnice= PZP poskytovatel zdrav. péče) lze rozdělit anonymizaci na čtyři typy:

1. v registru se bude uchovávat přímo rodné číslo pacienta
2. v registru se bude uchovávat md5 hash (otisk) rodného čísla
3. V registru se bude uchovávat pouze identifikátor rodného čísla
4. Sběr dat lokálně

ad 1) První možnost nám umožňuje přímé párování PZP a dat z registru. Toto párování je v zásadě technologicky možné pouze v režii správce dat. Tato úroveň anonymizace je bez smlouvy s nemocnicí nemožná.

ad 2) Druhá úroveň anonymizace, kdy v registru uchováváme hashovací otisk vybraného algoritmu, vznikne myšlenkově nepříliš obtížné párování dokladů, ovšem časově již poměrně náročné (velké množství výkazů PZP, jejich kódování a párování). Zde je párování technologicky v zásadě možné rovněž pouze v režii správce dat. Dle zákona je tato alternativa stejná jako předchozí možnost, neboť tento způsob kódování je napadnutelný zpětným prohledáváním a z pohledu zákona se tedy nejedná o anonymizaci, přestože je fakticky zjištění konkrétního rodného čísla bez potřebných odborných znalostí daleko obtížnější.

ad 3) Třetí úroveň anonymizace je situace, kdy v registru uchováváme pouze nějaký identifikátor rodného čísla. Zde můžeme technologicky využít několik možností. První možností je situace, kdy pověřený zaměstnanec nemocnice zadávající data do registru bude mimo systém zadávání dat do registru

uchovávat za zdmi nemocnice převodní tabulku (či jinak zaznamenávat) rodné číslo pacienta. Toto řešení je dosti těžkopádné a je zde velké riziko ztráty či nekompletnosti dat a tedy další nutnosti manuální opravy dat. U tohoto řešení se požaduje aktivní účast nemocničního zařízení při párování dat. V registru nejsou uloženy žádné adresné údaje a tedy dle zákona o anonymizaci je při tomto řešení vše v pořádku. Druhou možností této úrovně je stav, kdy rodná čísla budou do registru vkládána zakódována šifrovacím algoritmem, nicméně řetězec rodného čísla bude před kódováním doplněn o domluvený prefix, který bude znát pouze zaměstnanec nemocnice. Technologicky i logisticky je tato možnost nejnáročnější řešení zasluhující si samostatný rozbor a detailní návrh na základě konkrétních technologických možností řešení registru. Pro párování je následně nutná spolupráce vlastníka hesla, což může způsobit komplikace v případě více vlastníků různých hesel. Časově i technologicky je tato možnost poměrně náročná na párování dokumentů. V registru je pouze otisk rodného čísla, které je ale bez znalosti hashovacího hesla nečitelné a nenapadnutelné zpětným prohledáváním. Dle zákona je tedy i zde vše v pořádku. Tato možnost je považována za anonymizaci a tato možnost je využita v předkládaném projektu (viz dále).

ad 4) Poslední možností úrovně anonymizace je provádět sběr dat lokálně. Zde je registr provozován za zdmi nemocnice a nejsou tedy kladeny žádné požadavky na jeho obsah. Pro analytické zpracování se provádějí anonymní exporty. Technologicky je tato úroveň podmíněná možností běhu registru na straně klienta (nemocnice). V této části práce není uvedena žádná literatura, ze které bylo čerpáno, neboť problematika není dosud pro legislativní prostředí ČR uceleně zpracována a je nutno vycházet z dílčích informací rozložených v různých vyhláškách a novelách zákonů. Text proto vychází z osobní konzultace s experty IBA MU (Institut biostatistiky a analýz Lékařské a Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity), kde je provozováno přibližně 80 klinických registrů.

Při anonymizaci souboru dat, která budou uložena v databázi a přístupná přes webové rozhraní, byl v této práci kladen hlavní důraz na to, aby uvedené údaje nemohly vést k přímé identifikaci osoby. Jednou z možností, která se nabízela, bylo nahrazení těchto údajů zvoleným identifikačním číslem (ID). Toto číslo by pak bylo dále přes klíč propojeno s příslušnými částmi databáze, aby se případné nové soubory, příslušející k stejnému pacientovi, mohly k tomuto pacientovi přiřadit. Jelikož při narušení bezpečnosti a proniknutí přes technické zábrany má potenciální útočník možnost právě přes tento klíč zpětně identifikovat pacienta (nepřímá identifikace), nemůžeme výsledný soubor brát za anonymní, ale pouze za pseudoanonymní. Snahou tedy bylo, aby rozsah osobních údajů v databázovém souboru byl minimální a zároveň aby byl v zašifrované formě. Bylo tedy nutné, aby uložená data na serveru byla v zašifrované formě a nebyla tudíž přímo čitelná. Pro účely jednostranného šifrování rodných čísel lze použít MD5 (Message-Digest algorithm) nebo SHA (Secure Hash Algorithm). V obou případech se jedná o šifrovací algoritmy, které vytváří ze zadaných vstupních dat otisk (výstup) fixní délky. Jejich hlavní vlastností je fakt, že malá změna vstupních dat vede k velké změně na výstupu (tzn. vytvoření zásadně odlišného otisku). V

projektu bylo využito šifrování právě pomocí algoritmu MD5. Funkce MD5 je již (od verze 4) součástí PHP, což bylo hlavní kritérium výběru tohoto algoritmu. Máme-li tedy např. jedince narozeného 1.1.1990 s rodným číslem 900101/xxxx (za x mějme pro tento příklad např. nulu – to zde není relevantní), získáme pomocí MD5 šifrování rodného čísla „900101/0000“ hashovací otisk „54007264e63810abc626f197eb18be17“. Jak již bylo zmíněno u druhého typu úrovně anonymizace, je tento způsob kódování napadnutelný zpětným prohledáváním a tedy z pohledu zákona se nejedná o dostatečnou anonymizaci. Navíc pro tvorbu rodného čísla existuje algoritmus, který stanovuje jak rodné číslo z pohledu a data narození vytvořit, přičemž poslední čtyřčíslí musí vyhovovat stanoveným kritériím, jinak je rodné číslo neplatné. V případě nalezení rodného čísla zakódovaného pomocí MD5 lze tedy relativně jednoduše ověřit proti vygenerovanému seznamu MD5 hashů rodných čísel o které rodné číslo se jedná. Z tohoto důvodu je řetězec rodného čísla před vlastním šifrováním algoritmem MD5 doplněn o speciální kód, který je uložen jinde než řetězec rodného čísla. Pokud tedy k námi zvolenému rodnému číslu „900101/0000“ přidáme na začátek speciální kód (např. jedničku), získáme pomocí MD5 algoritmu otisk „c68aa8de85d88148e32fdd28b8a38523“, což jak vidíme je zcela odlišný kód od původní ukázky a navíc při odcizení dat z databáze, není pacient bez znalosti speciálního klíče zpětně identifikovatelný jako v prvním případě. Dle zákona se zde jedná o zcela legitimní anonymizaci.

Teoreticky existují i další možnosti jak osobu identifikovat. Jednou z nich je identifikace na základě rekonstrukce tváře z MRI dat. Zabránit tomu lze pomocí tzv. „DEFACERu“. Defacer je algoritmus pro odstranění identifikovatelných rysů tváře (oči, nos, ústa). Algoritmus najde rysy tváře a odstraní je, aniž by narušil mozkovou strukturu na pořízené dokumentaci. Tento algoritmus je stále ve fázi vývoje a nebyl v tomto projektu využit.

5 Závěr

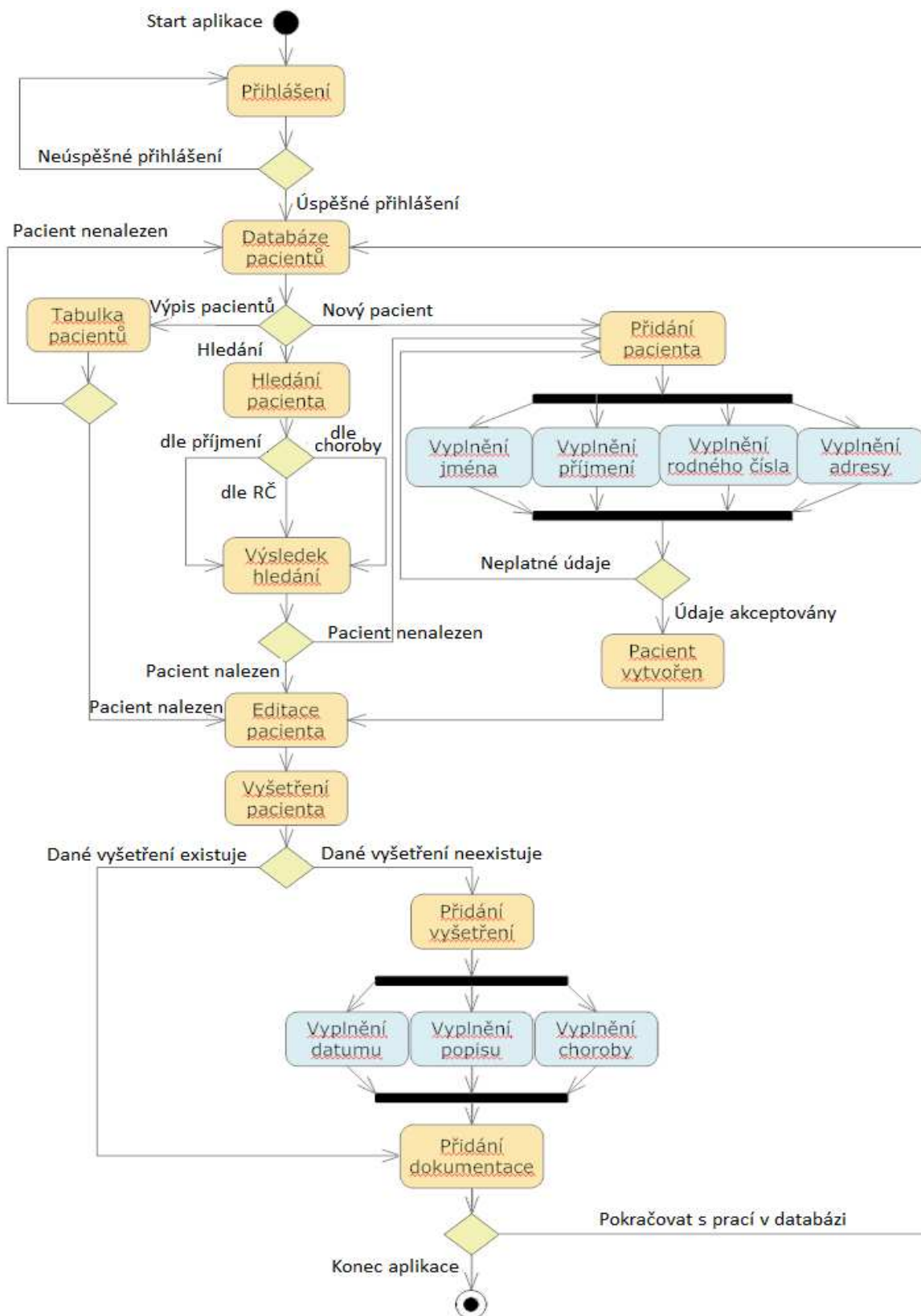
Klinické registry provozované v České republice prozatím pracují výhradně s daty uloženými v textové podobě. Zřídka kdy se v existujících klinických registrech využívají data obrazová, a to jen v registrech zahraničních. Legislativní aspekty multicentrické studie využívající obrazová data z MRI, jsou podobné legislativním aspektům klinických registrů, ovšem vzhledem k tomu, že klinické registry nepracují s obrazovými daty, nebyla u nás problematika sdílení obrazových dat v rámci multicentrických studií doposud zpracována. Problematika anonymizace patientských údajů byla vyřešena za použití šifrovacího algoritmu MD5 doplněného o stanovený prefix a splňuje legislativní požadavky České republiky.

Testovací implementace vytvořené aplikace je aktuálně spuštěna na stránkách <<https://www.marvik.johny.cz>>. Pro klinickou praxi je kvůli zamezení možného odposlechu komunikace potřeba využít přenos přes šifrovací kanál. Dále je v klinické praxi rovněž nezbytné, aby tento server byl dostatečně dimenzován na špičkové zatížení

6 Literatura

- [1] THOMAZ, C. E. et al.: Multivariate Statistical Differences of MRI Samples of the Human Brain. *Journal of Mathematical Imaging and Vision* 29: 95-106, 2007
- [2] KAWASAKI, Y. et al.: Multivariate voxel-based morphometry successfully differentiates schizophrenia patients from healthy controls. *NeuroImage* 34:235-242, 2007
- [3] KUKUROVÁ, Elena; VLČÁK, L'ubomír. *Pricípy e-health*. Olomouc : SOLEN PRINT, 2009. 154 s. ISBN 978-80-903776-7-7
- [4] Šárek, M.: Telemedicínské aplikace a sdružení CESNET. sborník konference MedSoft 2005, Benešov 2005
- [5] *Telemedicina* [online]. Brno: Masarykův onkologický ústav, c2009 , 4. 5. 2009 [cit. 2009-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.telemedicinabrno.cz/>>.
- [6] *Medimed* [online]. Brno: Ústav výpočetní techniky Masarykovy univerzity, c2008-2009 , 4. 5. 2009 [cit. 2009-05-04].
- [7] *Komplexní služby pro zdravotnictví* [online]. Transkontakt-medical, c2006-2007, 4. 5. 2009 [cit. 2009-05-04].
- [8] Zákon o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů: povinnosti osob při zabezpečení osobních údajů, zákon č. 101/2000 Sb. § 13
- [9] *Systémy pro sběr klinických dat* [online]. Brno: Institut biostatistiky a analýz, 19. 10. 2007, 4. 5. 2009 [cit. 2009-05-04].
- [10] MCNEIL, J. J., et al. *Guidelines for the establishment and management of clinical registries: Clinical registries*. 2nd draft version. Prahan : The NHMRC Centre of Research Excellence in Patient Safety Department of Epidemiology and Preventive Medicine School of Public Health and Preventive Medicine Level 3 Burnet Building Alfred Hospital, 2008. 93 s. Dostupné z WWW: <<http://www.crepatientsafety.org.au/registries/guidelines/may08.pdf>>.
- [11] HOFMANN, B., Imperativ digitalizace. *Praktická radiologie*. červen 2002, roč. 7, č 2, s. 16-18
- [12] VÁZQUEZ-NAYA, J. M., et al. Necessary Security Mechanisms in a PACS DICOM Access System with Web Technology. *Journal of Digital Imaging*. 2002, vol. 15, suppl. 1, s. 107-111.
- [13] PLOTNIKOV, A. V., PRILUTSKII, D. A., SELISHCHEV, S. V. The dicom standard in computer-assisted medical technologies. *Biomedical Engineering*. 1997, vol. 31, no. 2, s. 80-87.
- [14] COX, R.W. et al. *A (sort of) new image data format standard: Nifti-1. Human Brain Mapping* [online]. 2004 [cit. 2010-05-19].
- [15] Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR [online]. 2009 [cit. 2010-05-19]. MKN-10. Dostupné z WWW: <<http://www.uzis.cz/cz/mkn/index.html>>.

7 Příloha



Obrázek č. 1: Diagram aktivít ukazuje sekvenci stavů (jednotlivé stavy jsou označeny oranžovými obdélníky). Modré obdélníky představují větvení programu a prvky rozhodování mezi jednotlivými přechody znázorňují světle zelené prvky.