



Protokol o výsledku projektu

Poskytovatel podpory	Ministerstvo průmyslu a obchodu
Účastníci projektu	ADVACAM s.r.o. Radalytica a.s. Univerzita Karlova, 1. LF
ID projektu	FV 30413
Název projektu	Plně spektrální zobrazovací systém malých zvířat
Program	FV – TRIO
Termín zahájen a ukončení projektu	01/2018 – 12/2020
Název výsledku	SW pro kontrolu skeneru a zpracování dat
Typ výsledku	R – software
Odpovědný účastník	Radalytica a.s.
Termín dosažení	01/2020
Etapa a podetapa	E03, D2.3
Umístění výsledku	Radalytica a.s., U Pergamenky 1145/12, Praha 7, 170 00
Webová stránka výsledku	

Vypracoval Ing. Richard Kadeřábek

.....
Podpis

Datum: 29.1.2020

1 Účel výsledku

Detektory skenovacího systému, tak i mechanika skeneru vyžaduje řídicí SW, který bude také provádět zpracování a vizualizaci dat.

Software bude obsahovat moduly pro

- ovládání robotických ramen (Robot Control) – programovací jazyk C++
- ovládání expozičních parametrů rentgenky a nastavení akvizičních parametrů na straně detektorů (Components Control) – programovací jazyk C
- zpracování nasnímaných dat (FullSpect GUI)

Multimodální skener složený ze dvou robotických ramen, rentgenky s HV generátorem, detektorů, počítače a potřebných periférií je ovládán pomocí akvizičních scriptů, které mají v nižší vrstvě společné ovládací moduly (např. pro nastavení parametrů rentgenky, nastavení pohybů a polohování robotů atd.)

Úkolem řídicího softwaru je dosažení přesné pozice obou nástrojů upevněných na robotických ramenou vůči sobě a vůči detektorovému ringu. Software pro řízení pohybů robotů je naprogramován v jazyce C++ a scripty pro provedení plánů pohybů a poloh robotických ramen v jazyce Python. Pro splnění požadavků na přesnost a opakovatelnost pohybů a pozic robotů jsou nezbytné geometrické kalibrace. Pozice každého nástroje je pozičně kalibrován. Tyto kalibrace umožňují dosáhnout přesné polohy vyšetřovaného objektu, rentgenky a detektorů tak, aby akvizice dat proběhla vždy automatizovaně, opakovatelně a v požadovaném rozsahu bez rizika kolize robotických ramen s ostatním hardwarem skeneru.

2 Popis výsledku

2.1 Sada scriptů Robot Control

Aplikace umožňuje provádět žádoucí pohyby obou robotických ramen:

- Robot #1 nesoucí vyhřívanou postýlku se zkoumaným zvířetem zasouvá zkoumaný vzorek do detektorové části skeneru v požadovaných inkrementech zajišťující skenování všech oblastí zájmu.
- Robot #2 nesoucí rentgenku umožňuje pohyb rentgenky:
 - po kruhové dráze tak, aby svazek procházející vzorkem dopadal na příslušnou výseč detektoru (CT)
 - tak, aby primární svazek dopadal na vzorek pod takovým úhlem, pod kterým bude možné použít vybuzené fotony uvnitř vzorku fluorescenčnímu zobrazování (XRF)

Aplikace je popsána v kapitole 5.1

2.2 Aplikační vrstva Components Control

Moduly umožňují nastavení optimálních expozičních parametrů rentgenky (kV a mA), nastavení akvizičních parametrů detektorů a správu hardwaru pomocí připojeného a integrovaného PLC.

Popis aplikace se nachází v kapitole 5.2

2.3 Výstupní datové formáty

Pro uživatelsky přívětivé ovládání softwaru je aplikována nejvyšší uživatelská softwarová vrstva. Tato vrstva umožňuje uživateli použít jednoduché skriptování ve vhodném jazyce (Python) pro provádění i velmi komplexních skenů. Specifikace skenů jsou ukládána v konfiguračním souboru pro snadné načtení předchozích měření a jejich opakování.

2.4 Aplikace FullSpect GUI

Aplikace umožňuje rekonstrukci dat způsobem vhodným ke stanovení správné diagnózy a tvorbě protokolů s preklinickými závěry postavenými na interpretaci obrazových dat z vyšetření. Aplikace je sestavena ze 3 logických celků.

1. Business Logics
2. Controller
3. Visualizer

Tyto celky jsou dále popsány v kapitole 5.4.

3 Programovací jazyky

3.1 Aplikace Robot Control

Aplikace je celá napsána v programovacím jazyce C++.

3.2 Aplikace Components Control

Software pro ovládání a řízení PLC je napsána v programovacím jazyce C.

3.3 Výstupní datové formáty

Charakterizace datových formátů je popsána v kapitole 5.3

3.4 Aplikace FullSpect GUI

Aplikace je celá napsána v programovacím jazyce Python.

4 Detailní specifikace výsledku

4.1 Sada scriptů Robot Control

Aplikace umožňuje provádět žádoucí pohyby obou robotických ramen:

- Robot #1 nesoucí rentgenku umožňuje pohyb rentgenky:
 - po kruhové dráze tak, aby svazek procházející vzorkem dopadal na příslušnou výšeč detektoru (CT)
 - tak, aby primární svazek dopadal na vzorek pod takovým úhlem, pod kterým bude možné použít vybuzené fotony uvnitř vzorku fluorescenčním zobrazování (XRF)
- Robot #2 nesoucí vyhřívanou postýlku se zkoumaným zvířetem zasouvá zkoumaný vzorek do detektorové části skeneru v požadovaných inkrementech zajišťující skenování všech oblastí zájmu jak v cirkulárním, tak v helikálním režimu

Skener je naprogramován pro vyšetřování různými technikami emisních (SPECT/PET a XRF) a transmisních metod (CT) pro získání 2D obrazových dat vyšetřovaného zvířete. Tato programová vrstva počítá požadované pozice a úhly rentgenky a postýlky na základě dat z geometrických kalibrací. Navíc jsou pro ověřování dosažené polohy aplikována data poskytovaná senzory zabudovanými v robotických ramenech v uzavřených smyčkách z důvodu maximální opakovatelnosti požadovaných poloh.

Řídící software získává průběžné informace z robotických ramen, rentgenky s generátorem a detektorů. Tato data poskytují informaci o funkčnosti jednotlivých subsystémů a o správnosti nastavení parametrů v závislosti na zvolené modalitě. Ověřování parametrů skeneru způsobem uzavřené smyčky zvyšuje celkovou robustnost systému a zároveň řeší případné problémy před začátkem samotného skenování. Pro přesnější a pokročilejší zpracování naměřených dat jsou aktuální údaje ze senzorů ukládána společně s relevantními naměřenými daty do odpovídajících souborů a složek.

Pro uživatelsky přívětivé ovládání softwaru je aplikována nejvyšší uživatelská softwarová vrstva. Tato vrstva umožňuje uživateli použít jednoduché skriptování ve vhodném jazyce (Python) pro provádění i velmi komplexních skenů. Specifikace skenů jsou ukládána v konfiguračním souboru pro snadné načtení předchozích měření a jejich opakování.

4.2 Aplikační vrstva Components Control

Moduly umožňují nastavení optimálních expozičních parametrů rentgenky (kV a mA), nastavení akvizčních parametrů detektorů a správu hardwaru pomocí připojeného a integrovaného PLC.

Software pro ovládání PLC je napsán v programovacím jazyce C.

Do centrálního řídicího PLC jsou propojené všechny komponenty skeneru: rentgenka, detektor, řídicí počítače robotických ramen a další přidružené senzory. PLC tak kontroluje a řídí veškerý hardwarové komponenty v závislosti na obdržných instrukcích, např. nastavuje expoziční parametry rentgenky či zajišťuje napájení jednotlivých komponentů. Naprogramované PLC pak dále monitoruje stav systému a zařazuje ho do následujících funkčně bezpečnostních stavů:

- Normální
- Varování
- Kritický stav

Kritické stavy jsou řešeny přímo na nejnižší úrovni PLC pro ochranu systému před vážným poškozením např. přehřátí či výskytu mimo své provozní tolerance a podmínky.

Do systémového softwaru jsou integrovány také kontroléry použitých robotů. Obě robotická ramena reportují systémovému softwaru jakékoli porušení nastavených bezpečnostních stupňů a tento software významně pomáhá uživateli vyřešit jakékoli chybové hlášení či bezpečnostní výstrahu.

Software dále integruje modul SDK zobrazovacího detektorového ringu a nahrává veškerá potřebná nastavení a kalibrace do detektoru ještě před instrukcí k započítí akvizice dat. Navíc software verifikuje úspěšnou akvizici dat prováděním kontrolních online výpočtů na samotných naměřených datech.

4.3 Výstupní datové formáty

Výstupní datové formáty jsou kombinací adresářové struktury souboru v plain text formátu pro nastavované parametry měření a binárních formátů pro kompaktní uchování naměřených dat (kompletní popis struktury adresářů a souborů je popsána v dokumentaci systému RadalyX) a její znalost operátorem není nutná pro následné zpracování dat (zpracující softwary strukturu rozumí a umí jí korektně načíst)

Naměřená sada dat se ukládá do předdefinovaných složek defaultně pojmenovaných datem a pořadovým číslem vyšetření. Výsledná sada dat je poté nahrána uživatelem do aplikace FullSpect GUI pro další zpracování.

4.4 Aplikace FullSpect GUI

Dle rozdělení na jednotlivé moduly je jejich funkce následující:

4.4.1 Business Logics

Modul využívá pro nekomerční účely volně dostupný Astra Toolbox po CT rekonstrukce (<https://www.astra-toolbox.com/>). Jako nosný rekonstrukční algoritmus byla zvolena metoda SIRT. Třídy Business Logics celku je možné využívat nezávisle na dalších dvou modulech (Controller a Visualizer/Presenter).

4.4.2 Controller

Je prvkem spojujícím vizualizační část GUI a Business Logics.

4.4.3 Visualizer (Presenter)

Je pasivním prvkem napsaným v IDE QT s rozhraním v jazyce Python, který přijímá příkazy z Controlleru a posílá uživatelské události do Controlleru. Celkový vzhled aplikace je na obrázku Figure 3. GUI obsahuje:

a) Load Data Module

Načítá data projekcí pro CT/SPECT rekonstrukce ve formátu txt (data) s doprovodným JSON souborem definujícím geometrii dané projekce (oba soubory stejné projekce mají stejné názvy před příponami txt nebo JSON). Kliknutím na název souboru projekce v seznamu po načtení projekcí se zobrazí náhled projekce pod seznamem projekcí k dispozici.

b) Intensity Correction Module

Tento modul slouží pro načtení korekčních data společné pro jednotlivé korekce. Lze vybrat z možností:

i. Žádná korekce (pro SPECT data)

ii. Apply correction

- V případě, že nejsou k dispozici žádné korekční framy, tak je provedena korekce všech pixelů pouze pomocí formule – $\log(\text{intensity})$
- V případě, že je k dispozici právě 1 korekční frame, tak se provede pro každý pixel tzv. Flat-Field korekce (pod seznamem korekčních framů se zobrazí náhled Open-Beam Filtru)
- V případě více framů s nastavenými příslušnými hodnotami tloušťek krycích filtrů se provede pro každý pixel tzv. Beam-hardening korekce (pod seznamem korekčních filtrů se zobrazí náhled střední křivky BH korekce \pm SD křivky).

c) Bad Pixels Identification Module

Modul umožňuje:

- neignorovat vadné pixely (vhodná volba zejména pro měření SPECT)
- vadné pixely vyhodnotit ze sady naměřených projekcí (kritériem poměru průměrné hodnoty pixelu ku jeho standardní odchylce menší než zadaný threshold)
- nahrát mapu vadných pixelů ze souboru txt, kde 0 znamená vadný pixel a hodnota 1 ok pixel

d) Gantry Offset Correction

Vzhledem k náplni projektu a měření pomocí rotačních měřících soustav (rotujících okolo osy procházející zkoumaným objektem), je možné korigovat systematické pro všechny projekce společné nepřesnosti dané JSON soubory geometrií (nepřesnosti v poloze zdroje záření/virtuálního zdroje záření, detektoru a směru otáčení měřící soustavy při pořizování projekcí).

e) Reconstructed Volume Definition Module

Tento modul umožňuje definici velikosti voxelu rekonstruovaného objemu a velikost rekonstruovaného objemu (v jednotkách stejných, jaké byly použity v JSON souborech definice geometrií daných projekcí – pozor velikost objemu není definována v počtech voxelů). Dále je možné definovaný objem vyčistit od předchozích dat anebo nahrát iniciační objem (z MHA souboru).

f) Reconstruction Parameters Module

Umožňuje nastavení počtu iterací metody SIRT. Dále umožňuje uložit zrekonstruovaný objem do formátu MHA pro další zpracování.

g) XY, XZ, YZ Slice View Modules

Zobrazuje řezy rekonstruovaných objemem (první z dvojice os reprezentuje svislou osu a druhý vodorovnou na zobrazeném řezu).

5 Uživatelské rozhraní

5.1 Sada aplikačních scriptů Robot Control a vrstva Components Control

Uživatel si volí modalitu skenování úpravou a spuštěním dedikovaného akvizičního scriptu. V příslušné modalitě jsou pak v pozadí již navoleny optimální akviziční parametry detektoru s možností změny volby radionuklidu a pro transmisní metody jsou nastaveny optimální parametry rentgenky. Dále si uživatel volí rozsah skenování zkoumaného zvířete (referenční nula je stanovena na frontální okraj maxilly zvířete).

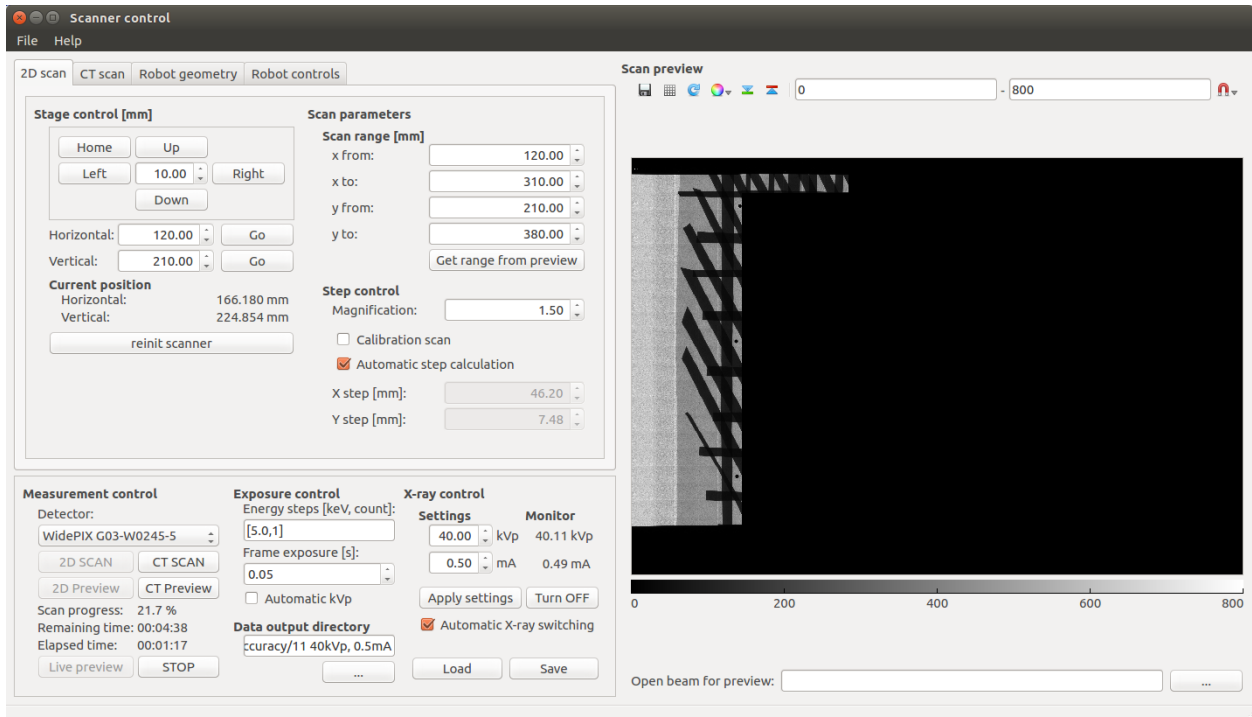


Figure 1 – Snímek obrazovky základního ovládacího rozhraní pro robotické měření s prstencovým detektorem

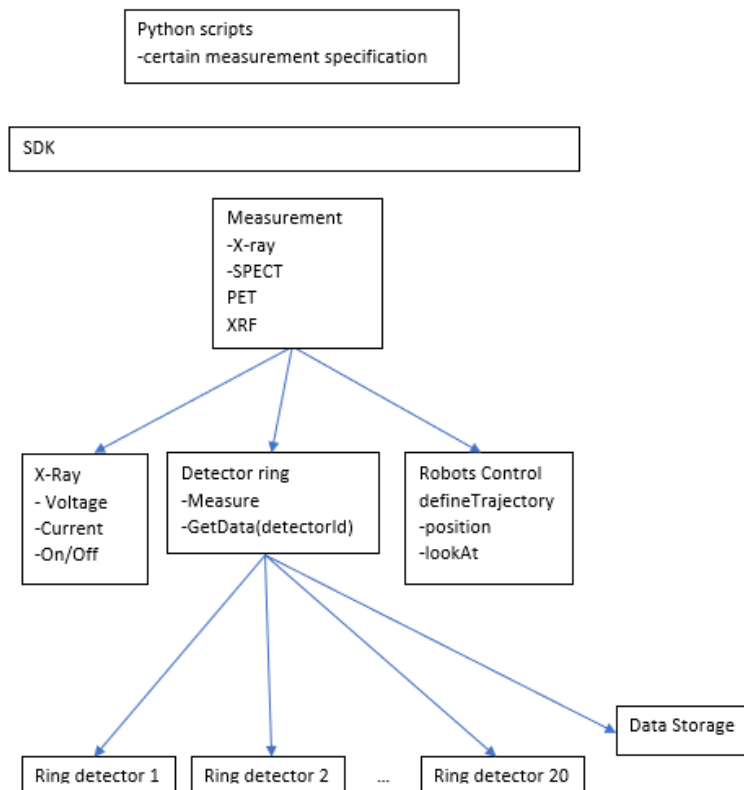


Figure 2 - Schematické znázornění propojenosti modulů v akvizčních skriptech (bez pomocných tříd typu log, ini atp.)

Výsledná sada dat z měření je poté nahrána uživatelem do aplikace FullSpect GUI pro další zpracování.

5.2 Aplikace FullSpect GUI

Následující obrázek ukazuje uživatelské prostředí softwaru FullSpect GUI. Levý sloupec je modulem pro výběr rekonstruovaných dat. Další sloupce pak odpovídají jednotlivým modulům popsáných v kapitole 5.4

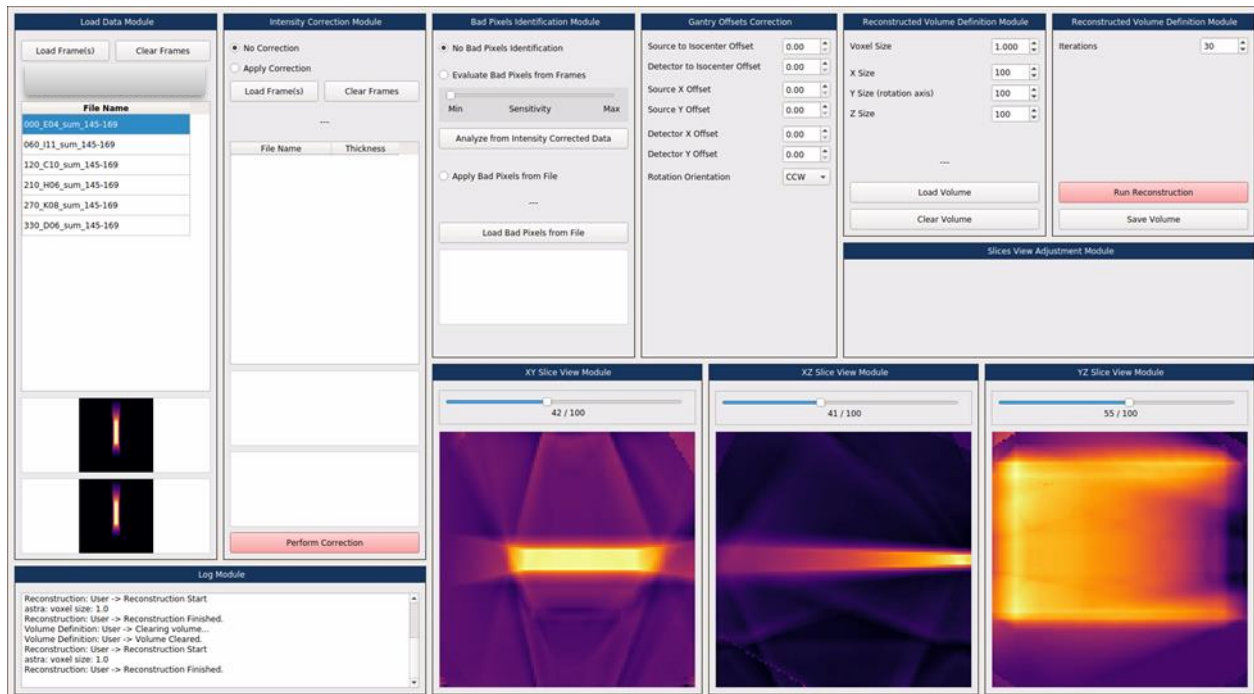


Figure 3 - Screenshot aplikace FullSpect GUI

6 Literatura

- [1] DEWARAJA, Y. K., M. LJUNGBERG a K. F. KORAL. Accuracy of ¹³¹I tumor quantification in radioimmunotherapy using SPECT imaging with an ultra-high-energy collimator: Monte Carlo study. *Journal Of Nuclear Medicine: Official Publication, Society Of Nuclear Medicine* [online]. 2000, **41**(10), 1760-7 [cit. 2020-04-07]. ISSN 01615505.
- [2] <https://imagej.net/Deconvolution>
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Point_spread_function