

РЕЗЮМЕТА

НА НАУЧНИТЕ ТРУДОВЕ И УЧЕБНИ ПОСОБИЯ

на д-р инж. Кристина Станимирова Близнакова

представени за участие в конкурса за доцент по професионално направление:

5.3. „Комуникационна и компютърна техника“,

Научна специалност: „Автоматизирани системи

за обработка на информация и управление (по отрасли)“,

публикуван в ДВ брой 29 / 12.04.2016 г.

За участие в конкурса са подбрани **общо 48 рецензирани публикации**, в т.ч. **45 научни публикации** и **3 учебни пособия**, разделени по категории както следва:

I. Публикации в рецензирани международни научни списания,	26 бр.
II. Публикации в рецензирани международни научни конференции,	19 бр.
III. Учебни пособия,	3 бр.

От представените за участие в конкурса **общо 45 публикации**, **32 са поместени в база данни SCOPUS**, **23** от научните трудове представени в конкурса са **публикувани в списания с импакт фактор** и имат **кумулятивен импакт фактор IF = 42.790**. Подробен **Списък на публикациите с импакт фактор** е предоставен в Документа от т. 5 „Списък с Публикации“.

Научните публикации, представени за участие в конкурса, са разделени в две групи.

Първата група (А), **общо 21 публикации**, са обединени като равностойни на **монографичен труд** на тема:

"КОМПЮТЪРНИ МОДЕЛИ, СИМУЛАЦИИ, АЛГОРИТМИ, СОФТУЕРНИ ПЛАТФОРМИ И ПРИЛОЖЕНИЯ В ОБРАЗНАТА РЕНТГЕНОВА ДИАГНОСТИКА НА МЛЕЧНА ЖЛЕЗА":

I. Публикации в рецензирани международни научни списания,	13 бр.
II. Публикации в рецензирани международни научни конференции,	8 бр.

Тематично публикациите от **група А** са систематизирани в следните области:

1. Нови методологии за моделиране на антропоморфна женска млечна жлеза, вкл. нови алгоритми за моделиране на туморни образувания с неправилна форма и моделиране на компресията на гърдата по време на мамография - за целите на конструиране, тестване и оптимизиране на нови техники за откриване на рак на гърдата и др., (общо 3 научни публикации: [A2], [A4], [A14]);
2. Създаване на нови софтуерни платформи за получаване на рентгенови мамографски изображения за нуждите на класическата, фазово-контрастна планарна и тримерната мамография (томосинтеза и конусна компютърна томография), вкл. валидиране и тестване на тези софтуерни платформи, (общо 7 научни публикации: [A3], [A9], [A12], [A15], [A17], [A18], [A21]);

3. Моделиране и приложение на нови технологии за откриване на рак на млечната жлеза, в това число и нови алгоритми за реконструиране на тримерни (3D) изображения, (общо 7 научни публикации: [A1], [A5], [A7], [A11], [A16], [A19], [A20]);
4. Нови факти за: (а) грешката, която възниква от използване на хомогенен фантом на млечна жлеза в мамографията, (б) най-подходящите детектори за мамографски изображения, както и (в) параметрите на двумерните (2D) изображения и реконструирания томограми, получени чрез прилагане на иновативен анализ върху тях, (общо 4 научни публикации: [A6], [A8], [A10], [A13]).

Втората група (Б) включва 24 публикации разпределени както следва:

I. Публикации в рецензирани международни научни списания,	13 бр.
II. Публикации в рецензирани международни научни конференции,	11 бр.

Тематично публикациите от **група Б** са систематизирани в следните области:

1. Нови методи за моделиране на малки по форма и обем композитни части, съставени от полимери, подсилени с въглеродни влакна и симулация на техни рентгенови изображения за целите на тестването на тези техники, като метод за неразрушителен контрол на аеро-структурни части в самолетната индустрия, (общо 3 научни публикации: [B6], [B8], [B17]);
2. Нови техники и методи за реализиране на ротационна лъчетерапия (общо 2 научни публикации: [B1], [B2]);
3. Нови методи за провеждане на обучение в областта на компютърните симулации в медицината, (общо 8 научни публикации: [B9], [B13], [B15], [B18], [B19], [B22], [B23], [B24]);
4. Дизайн, конструиране и тестване на нови техники и алгоритми за откриване на туморни образувания на гърдата и разграничаване на бяло от сиво мозъчно вещество, в това число и нови алгоритми за реконструиране на тримерни изображения, (общо 5 научни публикации: [B3], [B4], [B14], [B16], [B20]);
5. Създаване на нови методи за сегментация на черен дроб от компютърни томографски изображения със или без контраст за нуждите на чернодробните хирурзи, (общо 2 научни публикации: [B7], [B10]);
6. Нови прогнозни данни, получени чрез използване на Монте Карло техники за целите на интервенционалната диагностика и здравните институции за оптимизиране на разходите и повишаване стандарта на живот на пациентите с бъбречна недостатъчност, (общо 3 научни публикации: [B5], [B11], [B21]);
7. Развитие на секцията на IEEE, ED/SSC - Varna към ТУ-Варна, (общо 1 публикация: [B12]).

Трета група (В) включва 3 учебни пособия (2 Ръководства за лабораторни упражнения и 1 Лекционен курс).

A. НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ,

РАВНОСТОЙНИ НА МОНОГРАФИЧЕН ТРУД НА ТЕМА:
"КОМПЮТЪРНИ МОДЕЛИ, СИМУЛАЦИИ, АЛГОРИТМИ, СОФТУЕРНИ
ПЛАТФОРМИ И ПРИЛОЖЕНИЯ В ОБРАЗНАТА РЕНТГЕНОВА
ДИАГНОСТИКА НА МЛЕЧНА ЖЛЕЗА"

- I. Публикации в рецензирани международни научни списания,**
общо 13 броя

- [A1]. **Bliznakova K**, Kolitsi Z, Pallikarakis N, 2006, *Dual-energy mammography: Simulation studies*, Physics in Medicine & Biology, (impact factor: **2.761**), 51 (18) pp. 4497-4515, ISSN: 00319155, DOI: 10.1088/0031-9155/51/18/004, cited in Scopus: 36 times, cited in Google Scholar: 48 times

Двойно-енергийна мамография: Симулационни изследвания

През последните години, възможността за прилагане на двойно-енергийна мамография за откриване на микрокалцификати и тяхната диагностика се проучва в серия от теоретични научни разработки и малко в експериментални такива. Тези изследвания показват предимствата на тази нова техника, които предимства се проявяват в по-голям контраст на туморните образувания по отношение на заобикалящите ги тъкани. Първоначалното тестване на тази техника с пациенти показва, че използването ѝ води до предимства по отношение на традиционната мамография. Въпреки това, използването ѝ не се е наложило досега, най-вече поради технически ограничения в съществуващата мамографска апаратура и ограничения в радиационната доза.

Цел на тази научна разработка е да се изследва механизма, по който двойно-енергийната мамография води до увеличаване на контраста на микрокалцификатите и вероятността те да бъдат детектирани и визуализирани по-добре. Друга цел е да се намерят оптималните параметри, необходими за реализирането на модалността двойно-енергийна мамография. За тази цел е разработен софтуерен продукт, който реализира тази нова модалност. Софтуерният продукт е базиран на софтуерния симулатор *XRayImagingSimulator*, който се използва за моделиране и симулиране на рентгенови изображения при различни сканиращи геометрии. Към съществуващата софтуерна платформа са добавени програмни модули, които реализират нови функционалности, специфични за двойно-енергийната мамография. Такива функционалности са нови модели на радиационно излъчване, нов подход за изчисляване на абсорбираната доза, изчисляване на двойно-енергийното изображение като разлика от двете изображения, които са били получени при различни входни енергии на рентгеновото лъчение. Софтуерът е валидиран да симулира правилно двойно-енергийни изображения.

В статията се описва използването на новата софтуерна платформа за оценка приложимостта на тази нова техника в практиката за по-добра визуализация и по-ранно откриване на микрокалцификати. Описани са компютърни изследвания, в които се използва тримерният модел на млечна жлеза. Симулирани са 91 монохроматични спектри в интервала [10:100]keV както и следните полихроматични спектри: 30kVp, 50kVp, 100kVp. Моделираните рентгенови детектори са с фосфорно покритие (а) CsI; (б) Gd₂O₂S и (в) BaFBr. Симулирани са 72 двойно-енергийни изображения. Резултатите показват предимство при използването на рентгенови спектри, съставени от една енергия в сравнение с полихроматичните спектри. Използването на новия метод за получаване на рентгенови изображения подобрява визуализацията на микрокалцификати с размер над 200 μm и увеличава вероятността те да бъдат открити своевременно. Вторият извод е свързан с оптималните ниски и високи енергии на рентгеновите лъчения, използвани в двойно-енергийната модалност. Оптимизацията с монохроматични спектри показва, че комбинацията 21keV (за ниски енергии) и 52keV (за високи енергии) е оптимална за най-добро визуализиране на микрокалцификатите за детектори от тип CsI, Gd₂O₂S и BaFBr. Резултатите са оценени субективно и обективно. Визуалната оценка е направена от рентгенолози и показва видимо наличие на микрокалцификати с размер по-голям от 200 μm върху симулираните изображения. За сравнение, при рентгеновите изображения, получени с един спектър видимо се забелязват микрокалцификати с размер над 400 μm . Микрокалцификати с размери около 100 μm могат да бъдат детектирани при възпроизвеждане на получените двойно-енергийни изображения в по-голям мащаб. Получените резултати ще бъдат валидирани в клинични условия преди имплементирането на този нов метод в клиничната практика.

- [A2]. Zyganitidis Ch, **Bliznakova K**, Pallikarakis N, 2007, **A novel simulation algorithm for soft tissue compression**, Medical & Biological Engineering & Computing, (impact factor: **1.726**), 45(7), pp. 661-669, ISSN: 01400118, DOI: 10.1007/s11517-007-0205-y, cited in Scopus: 16 times, cited in Google Scholar: 29 times

Иновативен алгоритъм за симулиране на компресия на меки тъкани

Компресирането на млечната жлеза по време на мамография е важна част от процедурата за получаване на висококачествено мамографско изображение. Компресирането оптимизира качеството на изображението, и води до по-добра визуализация на малките лезии, скрити в плътната гърдна тъкан. Също така, то довежда до намаляване на радиационната доза, тъй като рентгеновите лъчи изминават по-малко разстояние през гърдата и поради това лъчението затихва по-бавно. От друга страна, компресията води до минимизиране на движението на гърдата по времето на облъчване и следователно до намаляване на артефактите в изображението. Изследването на нови мамографски техники изисква прецизна компютърна симулация на компресията на този орган по време на рентгенова образна диагностика.

Тази разработка представя иновативен алгоритъм за симулация на компресията, която се прилага върху меките човешки тъкани, който алгоритъм е базиран на концепцията за деформация на пружина. Обемът, подложен на компресия се разделя на множество "моделни елементи", всеки от които е съставен от 27 възли. Възлите са свързани помежду си с пружини. Една пружина може да бъде дефинирана чрез два параметъра: модул на еластичност E и равновесна дължина. Механичните свойства на тъканите са приети да бъдат линейни и изотропни. Компресираният обем на моделираната мека тъкан остава постоянен поради въведеното понятие за равновесие на пружинните променливи дължини.

За разработения алгоритъм, се изчисляват първоначални стойности, за които компресиращият алгоритъм намалява първоначалния брой итерации, което води до по-бързо получаване на крайния резултат. Тези стойности са установени чрез прилагането на закона на Хук. Разработеният алгоритъм е използван за моделиране компресията на млечна жлеза по време на стандартен мамографски преглед. За тази цел е използван тримерен компютърен модел на средно плътна гърда с внедрени четири калцификатни аномалии. Моделът на гърда е дискретизиран в тримерен масив с размер 512 x 512 пиксели, с размер на воксела 1 mm x 1 mm x 1 mm. Зададена е 50% компресия от обема на млечната жлеза.

Срезове от обемите на компресирана и некомпресирана млечна жлеза са сравнени визуално и числено. В последния случай са изчислени стойностите на деформация и изместване на меките тъкани и на калцификатите. Резултатите показват, че аномалиите запазват своята форма и размери по време на компресиране, докато околните меки тъкани на гърдата (мастна и жлезиста тъкан) претърпяват значителна деформация и изместване. Декомпресиращ алгоритъм също е разработен и се прилага за тестване на обратимостта на модела на компресията.

Разработеният методът е успешно тестван за компресията на компютърен модел на тримерна гърда. Следваща стъпка е включването на нелинейна зависимост на деформацията на пружината в модела, за да може този модел по-успешно да се доближи до поведението на човешката тъкан по време на компресия. По-детайлно верифициране също се предвижда да бъде направено.

- [A3]. **Bliznakova K**, Speller R, Horrocks J, Liaparinos P, Kolitsi Z, Pallikarakis N, 2010, ***Experimental validation of a radiographic simulation code using breast phantom for X-ray imaging***, Computers in Biology and Medicine, (impact factor: **1.459**), 40(2), pp. 208-214, ISSN: 00104825, DOI: 10.1016/j.compbiomed.2009.11.017, cited in Scopus: 16 times, cited in Google Scholar: 21 times

Експериментално валидиране на софтуерен код за рентгенографска симулация с помощта на компютърен модел на млечна жлеза за рентгенови изображения

Компютърните модели и компютърното симулиране на системи за рентгенови изображения са изключителен ценен инструмент, използван в процеса на разработването и оценяването на нови по-ефективни двумерни и тримерни рентгенови техники. За да се осигури обаче достоверна симулация на една нова рентгенова система, всички компоненти от системата трябва да бъдат прецизно моделирани, тествани и, разбира се, верифицирани чрез данни, получени от експериментални измервания.

Тази научна статия представя детайлно валидиране на разработената софтуерна платформа *XRayImagingSimulator*, предназначена за различни двумерни и тримерни симулации в рентгеновата образна диагностика. Софтуерната платформа е широко използвана като основен инструмент за осъществяване на сложни симулационни експерименти, като например този за получаване на рентгенови изображения на гърдата. Подходът, който е избран сравнява субективно и обективно резултатите, получени чрез реален и симулационен експеримент. В реалния експеримент участва физическият фантом на гърда CIRS 011A, облъчен при различни радиационни дози. Експериментът е реализиран на синхротронната линия SYRMEP от научната инфраструктура ELETTRA, Триест. Симулациите включват моделиране и симулиране на реалния експеримент чрез използване на софтуера. За тази цел, експерименталната опитна постановка е моделирана в детайли. Монохроматичната радиация е 19 keV, моделираният фантом е точно копие на физическия фантом, а детекторът е моделиран отчитайки ефикасността на фосфорния слой, прихващането на рентгеновите лъчи към оптичните фибри и преобразуването им в електрони в CCD камерата.

Валидирането се осъществява чрез сравнение на експериментални и симулирани изображения, чрез използването на субективни и обективни критерии. Обективните критерии включват сравнение на следните параметри, извлечени от определени области на експерименталните и симулираните изображения: а) средна стойност на интензитета, б) отношението сигнал към шум и в) сравнение на профилни линии. Субективната оценка включва визуално сравнение между симулирано и експериментално изображение на дадения мамографски обект. Сравненията между експерименталните и симулираните изображения показва много добро съответствие между експеримент и симулация.

Използването на софтуерната платформа *XRayImagingSimulator* с рентгеновия модел на млечна жлеза осигурява мощен инструмент в ръцете на биомедицинските инженери и медицински физици за конструиране, тестване и оптимизиране на нови рентгенови техники, предназначени за контролни прегледи и диагностика на млечната жлеза.

- [A4]. **Bliznakova K**, Suryanarayanan S, Karellas A, Pallikarakis N, 2010, ***Evaluation of an improved algorithm for producing realistic 3D breast software phantoms: Application for mammography***, Medical Physics, (impact factor: **2.635**), 37(11), pp. 5604-5617, ISSN: 00942405, DOI: 10.1118/1.3491812, cited in Scopus: 22 times, cited in Google Scholar: 31 times

Оценка на подобрен алгоритъм за получаване на реалистични компютърни тримерни модели на млечна жлеза: Приложение в мамография

Тази научна статия представя подобрен алгоритъм за генериране на тримерни софтуерни модели на женска гърда и тяхното оценяване за целите на мамографията. Тази методология е продължение на предходния алгоритъм, който генерира 3D некомпресирани компютърни модели на млечна жлеза и някои лезии. Методът се използва за генериране на модели на гърда с различен размер, форма и състав (съотношение на мастна към жлезиста тъкан). Компютърният модел е съставен от външната форма на млечната жлеза, млечното дърво, завършващо с терминални лобуларни единици, лигаменти на Купър, лимфна и кръвоносна системи, пекторален мускул, кожа, тримерна текстура представляваща мамографски фон, и различни доброкачествени и злокачествени образувания, характерни за гърдата.

Основното подобрене се отнася до разработването на (а) нов алгоритъм за създаване на тримерна мамографска текстура, (б) алгоритъм за създаване на модел на лимфна система и (в) алгоритъм за моделиране на кожата. За тази цел, са генерирани 30 софтуерни модела на млечната жлеза без лезии. Те са използвани с компютърен модел на мамографско устройство, в резултат на което са симулирани двумерни мамографски изображения, които наподобяват реални мамограми от пациенти. Тези изображения са оценени субективно и обективно. За целите на оценяването е създадена база данни с общо 420 области, селектирани от 30 симулирани и 55 реални мамографии на пациентки. Описано е участието на четирима радиолози, които участват в субективното оценяване. Те определиха какво е качеството на симулираните мамограми чрез използването на новия алгоритъм сравнени с мамограми, получени чрез използване на предходния подход. Обективният анализ включва спектрален анализ и изчисляване на фракталната дименсия, скюнес и куртозис на симулираните и на реалните мамограми от базата данни.

Софтуерният пакет е наречен *BreastSimulator* и работи под Microsoft Windows и Linux операционни системи. За генерирането на тримерни масиви с голяма резолюция, е необходимо използването на 64-битова версия на операционната система. За увеличаване бързодействието при генериране на гръдни модели, програмният код е преобразуван от последователен в паралелен за Linux клъстер, използвайки специализиран софтуер за мултипроцесорна обработка, реализирана чрез MPICH2.35. Два модела на млечна жлеза (голям и среден по обем) са генерирани с този паралелен код. За тази цел, е използвана работна станция на Dell с два четири-ядрени процесора и 32GB оперативна памет.

Резултатите от субективната оценка потвърждават, че новата методология за генериране на мамографска текстура води до подобрене на модела на млечната жлеза в сравнение с предходния метод. Изчислените параметри на оценка за симулираните изображения са подобни на тези, изчислени за реалните мамограми. Резултатите за куртозис и скюнес са също в много добро съвпадение с тези, изчислени от клиничните изображения.

Подобрената методология генерира модели на млечната жлеза с подобрен реализъм, сравнен с моделите, генерирани със стария алгоритъм, както е показано в оценката на симулираните изображения от опитни радиолози. Симулираните изображения могат да бъдат използвани в проучвания на двумерни и тримерни мамографски техники.

- [A5]. **Bliznakova K**, Bliznakov Z, Buliev I, 2012, ***Comparison of algorithms for out-of-plane artifacts removal in digital tomosynthesis reconstructions***, Computer Methods and Programs in Biomedicine, (impact factor: **1.964**), 107(1), pp. 75-83, ISSN: 01692607, DOI: 10.1016/j.cmpb.2011.09.013, cited in Scopus: 1 times, cited in Google Scholar: 4 times

Сравнение на алгоритми за отстраняване на артефакти, получени от не фокусирани равнини в реконструкции от цифрова томосинтеза

Цифровата томосинтеза е метод на реконструкция на томографски изображения, която използва ограничен набор от проекции, възпроизведени от различни ъгли и получени в ограничена дъга около човешкото тяло. Реконструирания томограми от необработени оригинални проекционни изображения, обаче, са неизменно засегнати от томографски шум. Пример е размазването на обекти, разположени извън равнината на фокус, които обекти се наслаждат един върху друг върху фокусирания образ в реконструирания равнината. Съществуват два основни типа методи, които разглеждат този проблем и предлагат варианти за неговото решение. Едните методи използват предварителна обработка на получените проекции, например предварително филтриране на изображенията с различни филтри, преди да се приложи реконструирания, докато другите методи включват последваща пост-обработка на реконструирания томограми с цел намаляване на шума.

Тази научна разработка има за цел да изследва и сравни два подхода за генериране на томограми с намален шум. Първият подход е базиран на общ метод за последваща обработка на реконструирания томограма въз основа на изграждане на маска на шума от всички равнини в реконструирания обем и нейното последващо изваждане от равнината на фокус. Вторият подход е базиран на реконструкция на томограми, използвайки Алгоритъм на Многобройните Изображения (Multiple Projections Algorithm) с предварително филтриране на първоначалните проекции.

С цел оценяване на двата подхода, е извършена симулация, използвайки три математически фантома, създадени чрез специализиран собствен софтуерен продукт: *XRayImagingSimulator*. Реализиран е експеримент, който използва два физически фантоми (TOR-MAX и TOR-MAM), които са подобни на математическите фантоми, използвани в симулацията. Експериментът е реализиран на SYRMEP линията в лабораторната инфраструктура на ELETTRA Synchrotron Light Laboratory, Триест, Италия, където са получени експерименталните изображения. Върху симулационните и експерименталните проекции са приложени двата подхода за реконструиране на томограми. Резултатите са оценени качествено и количествено.

Резултатите показват, че и двата метода за премахване на шума успешно елиминират размазването, причинено от паразитни обекти от други равнини. Въпреки това, и в двата случая на хомогенен или нехомогенен обект на изследване, методът с предварително филтриране на проекциите (FMPA) не може да постигне добри стойности на контраста (CNR) за обекти, характеризирани се с нисък контраст, докато другият метод с маска на шума и последващо изваждане (MPA-NM) демонстрира по-добро качество на реконструирания томограми и по-високи стойности на контраста (CNR) за обекти с ниско-контрастни характеристики (каквито са мастните лезии), особено в случай на нехомогенен обект.

Качествената и количествена оценки на реконструирания томограми показват, че трябва да се осъществи пост-обработка на реконструирания обем, за да се повиши контраста и да се намали шума в реконструирания равнини. Методът е особено ценен при хетерогенен обект, какъвто е обект е човешката тъкан, тъй като подобрява видимостта на всички обекти на изследване, като намалява ефекта на припокриване на отделните слоеве.

- [A6]. Liaparinos P, Bliznakova K, 2012, **Monte Carlo performance on the x-ray converter thickness in digital mammography using software breast models**, Medical Physics, (impact factor: **2.635**), Nov 39(11), pp. 6638-6651, ISSN: 00942405, DOI: 10.1118/1.4757919, cited in Scopus: 5 times, cited in Google Scholar: 6 times

Оценка на ефективността на детекторите, използвани в цифровата мамография чрез компютърна симулация, базирана на Монте Карло

Мамографията е рентгеново изследване на млечната жлеза, която се използва за ранно откриване и точна диагноза на всякакви доброкачествени и злокачествени образувания. За ранната диагностика важна роля играят източникът на рентгенови лъчи, съставът на млечната жлеза, както и самият цифров детектор (преобразувател на сигнала). Предишни научни проучвания са изследвали поотделно влиянието на характеристиките на гърдата и на конфигурацията на детектора върху оптималната визуализация на структурите на гърдата в мамографското изображение. Комбинираният ефект от двата компонента не е бил изследван досега, а е важно да бъде изследван с цел подобряване на свойствата на предаване на сигнала в мамографските системи за постигането на мамографско изображение с високо качество.

Цел на настоящото изследване е да се сравнят и оценят два рентгенови цифрови преобразуватели, като се използват компютърни модели на млечна жлеза и модел на мамографска система. Изследванията целят да се определи нулевата честота на детектираната рентгенова ефективност (DQE) и чувствителността на детекторите. Влиянието на дебелината на конвертиращия материал върху контрастния праг (изчислен по отношение на модела на Роуз) е демонстрирано също.

За целта на изследването са използвани Монте Карло техники за симулиране взаимодействията на рентгеновите лъчи с компютърния модел на млечна жлеза и с горния конвертиращ слой на цифровия детектор. Компютърните симулациите включват моделиране и симулиране на: (а) два мамографски рентгенови спектъра: 28 kVp Mo, 0.030 mm Mo, и 32kVp W, 0.050 mm Rh, (б) реалистични компютърни модели на млечна жлеза и (в) модели на рентгенови цифрови детектори, които са най-често използвани за изследване в рентгеновата мамография: детектори с конвертиращ материал $Gd_2O_2S:Tb$ гранулиран фосфор, CsI:Tl структуриран фосфор, и a-Se фотопроводящ слой. Дебелината на материала на конвертиращия слой на детектора варира в между 50 mg/cm² и 150mg/cm².

Изследванията с Монте Карло показват, че: (а) рентгеновите лъчи стават по-малко проникващи, когато преминават през по-плътни модели на млечни жлези, което води до по-високи стойности на нулевата честота на DQE на рентгеновия конвертор и подобрени стойности на контрастния праг във всички случаи, (б) използването на мамографски спектър от W/Rh води до по-добри резултати и (в) a-Se показва по-високи стойности за нулева честота на DQE в сравнение с фосфорните конвертори, базирани на $Gd_2O_2S: Tb$ и CsI:Tl. Въпреки това, по-дебелите слоеве от CsI:Tl са сравними с a-Se слоевете и постигат приблизително 27.6% подобрене на коефициента праг на контраста при дебелина 150 mg/cm².

Настоящото Монте Карло симулационно изследване показва, че за рентгеново лъчение с енергии в областта на мамографията, максималната дебелина на a-Se детекторите трябва да бъде 100 mg/cm². Използването на CsI:Tl детектори с дебелина по-голяма от 100 mg/cm², биха довели до подобряване на качеството на мамографските изображения.

- [A7]. Bliznakova K, 2012, *Application of synchrotron radiation in mammography*, Recent Patents on Medical Imaging, (impact factor: **0.101**), 2(2), pp. 94-110, ISSN: 18776132, DOI: 10.2174/1877613211202020094, cited in Scopus: 1 times, cited in Google Scholar: 1 times

Приложения на синхротронно облъчване в Мамографията

Цел на тази обзорна статия е да се представят най-новите изобретения и техники, базирани на синхротронно рентгеново лъчение, за целите на двумерната и тримерната мамография и тяхната приложимост и бъдещи перспективи като техники за диагностика на рака на гърдата. За тази цел, е направен детайлен обзор на научната литература и свързани с тематиката патенти за последните петнадесет години в областта на синхротронната мамография. Измежду най-атрактивните и обещаващи приложения са фазово-контрастната мамография, k-edge мамографията, тримерната мамография, която включва компютърна томография и томосинтеза на гърдата.

Синхротронът е ускорител на частици, и е устройство, чийто принцип е основан на взаимодействието на заредени частици с електричното и магнитното полета. Електричното поле е способно да извършва директна работа над частицата, като увеличава нейната енергия. Магнитното поле, създавайки Лоренцова сила, само отклонява частицата, без да изменя енергията ѝ, и задава орбитата, по която се движат частиците. Синхротронът използва електрични и/или магнитни полета за ускоряването на електрически заредени частици и йони до много високи скорости. Съвременните ускорители са много скъпи съоръжения, изискващи ресурси, които не са по силите на никоя държава да осигури самостоятелно. Затова тези съоръжения се строят с колективните усилия на няколко държави. Едно от тях, ELETTRA, е в Триест, Италия. Там се реализира единствената по рода си клинична програма в областта на синхротронната мамография. Първите резултати от 9 пациента през 2006 са много обещаващи: мамографията получена на синхротрон е с по-висока пространствена разделителна способност и по-висок контраст между различните лезии и нормалната гърдна тъкан. И това при дози, които са подобни на тези в конвенционалната мамография. Това е бъдеща технология, подлежаща на развитие, с потенциал за ранно откриване на рак на гърдата.

Мамографските изображения, получени с дифракция, се характеризират с висока пространствена разделителна способност и отлично детектиране на изключително фините колагенови нишки. Това е една техника, която може да се използва за морфологични изследвания на тъканите на млечната гърда.

Днешните усилия са насочени към техническата реализация на 3D техниките, базирани на рентгенови лъчи, получени на синхротронни инфраструктури. Първите опити са направени с препарати от млечна жлеза. Резултатите от прилагане на тази техника показват потенциала да се различават ясно отделните тъкани: жлезиста, мастна и туморна тъкан, както и разделянето на отделните структури на гърдата в дълбочина и ясното различаване на архитектурата на туморното образуване.

За реализирането на тези 3D техники е необходимо да се разрешат следните проблеми: (а) създаване на нови, с висока резолюция, изискващи ниска доза радиационни детектори, (б) създаване на клиничен протокол за генериране на изображения, (в) алгоритми за 3D реконструиране на изображения. Реализация на обсъжданите мамографски приложения със синхротронна радиация в рутинната клинична практика, в момента среща практически проблеми, като например големия размер и много високата цена за поддържане на съоръженията на синхротронните инфраструктури. Очаква се появата и експлоатацията на нови по-икономични, компактни, синхротронни източници на рентгенови лъчи да доведат до намаляване на тези разходи и по-интензивното използване на мамография, реализирана със синхротронна апаратура.

- [A8]. Sechopoulos I, **Bliznakova K**, Qin X, Fei B, Feng S, 2012, **Characterization of the homogeneous tissue mixture approximation in breast imaging dosimetry**, Medical Physics, (impact factor: **2.635**), 39(8), pp. 5050-5060, ISSN: 00942405, DOI: 10.1118/1.4737025, cited in Scopus: 11 times, cited in Google Scholar: 17 times

Последствия от използването на хомогенна тъканна текстура в дозиметрията при получаване на 2D и 3D мамографски изображения

Цел на изследването, представено в тази статия, е да се сравнят нормализираните дози в жлезистата тъкан на млечна жлеза за две техники на образна диагностика на гърдата, използващи рентгенови лъчи: мамография и компютърна томография: (а) за компютърен модел на млечна жлеза, получен от компютърна томография на пациентка и (б) за обикновен компютърен модел на гърда, представен от хомогенен материал.

За тази цел, 20 обемни изображения на млечна жлеза от 20 пациенти са получени със специализирана прототипна система за компютърна томография на млечна жлеза, при която жената ляга по корем върху пациентната маса, млечна жлеза се поставя в специален отвор направен в тази маса, а системата за сканиране източник-детектор се върти ротационно под масата. Получените изображения се обработват от софтуерна система, която класифицира автоматично типа на вокселите в обемното изображение (кожа, мастна или жлезиста тъкан). Получените компютърни модели на млечна жлеза са подложени на симулация на механична компресия със собствено-разработен софтуер за получаването на компресирани млечни жлези, както е в клиничната практика. Описва се в детайли алгоритъмът на компресия. Изчислява се % на жлезистата тъкан в целия обем и нейната плътност за компресирани и некомпресирани модели на млечни жлези. Моделирани са допълнителни 3D изображения с формите на предишните 20, но всички воксели представляващи мастна и жлезиста тъкан са заменени с хомогенна смес от тези две тъкани, отчитайки съответните пропорции. Така са получени 4 вида 3D изображения на млечна жлеза: компресирани и некомпресирани; с хомогенно и с нехомогенно съдържание.

Получените компютърни модели (20 x 4) на млечни жлези са използвани да се изчисли нормализираната доза в жлезистата тъкан по време на мамография (компютърни модели на компресирана гърда) и компютърна томография на гърда (компютърни модели на некомпресирана гърда). За изчисленията са използвани Монте Карло симулации. В статията се описва детайлно сравнение на получените нормализирани дози в жлезистата тъкан за нехомогенни и хомогенни компютърни модели на млечна жлеза за всяка от симулираните модалности: мамография и компютърна томография. В случая на мамография, нормализираната жлезиста доза в хомогенен фантом е средно с 27% по-висока от тази в хетерогенния (пациентния) фантом. За случая на компютърна томография на млечната жлеза, стойността на нормализираната жлезиста доза е с около 8% (за 49 kVp) и с 4% (за 80 kVp) по-висока от тази в хетерогенния фантом.

Това научно изследване води до следните важни изводи: (а) използването на хомогенен фантом в изчисленията за нормализираната доза (като е в протоколите на ЕС) води до значително надценяване на дозата на облъчваната млечната жлеза в реалността. Това надценяване има пряко въздействие върху изчисляване на абсолютните стойности на дозите по време на облъчване, като и върху оценка на риска и може да повлияе съществено на някои сравнителни изследвания на различни модалности или техники с рентгенови източници. Грешката, въведена от използване на хомогенен фантом при използване на спектри с по-високи енергии, както в случая на компютърна томография, може да не е от клинично значение (въпреки че тази грешка е статистически значима). Следващо изследване е нужно, за да се характеризира по-добре това надценяване и да се разработят нови показатели или коригиращи фактори за по-добра оценка на реалната доза в млечните жлези, подложени на образна диагностика с йонизиращо лъчение.

- [A9]. **Bliznakova K**, Sechopoulos I, Buliev I, Pallikarakis N, 2012, **BreastSimulator: A software platform for breast x-ray imaging research**, Journal of Biomedical Graphics and Computing, 2(1), pp. 1-14, DOI: 10.5430/jbgc.v2n1p1, cited in Google Scholar: 12 times

BreastSimulator – цялостна софтуерна платформа за моделиране и симулиране на техники за рентгенова диагностика на гърдата

Добре установен факт е, че компютърните модели на рентгенови системи използвани за диагностика са основни и важни инструменти за разработване, тестване и оптимизация на нови техники за рентгенова образна диагностика, и за извършване на предпроектни проучвания преди прилагането на новите техники в клиничната практика. Такива модели са от съществено значение за развитието и създаването на нови образни методи за диагностика на гърдата, имащи за цел своевременно и подобро откриване на лезии на гърдата в ранен стадий. Тази научна статия представя софтуерна платформа, наречена *BreastSimulator*, предназначена за изследвания, свързани с образната диагностика на гърдата.

Софтуерната платформа се състои от четири модула: (а) модул за създаване на тримерни модели на гърдата, (б) модул за симулация на компресията по време на мамография и томосинтеза, (в) модул за моделиране и симулиране на рентгенови диагностични техники и (г) модул за визуализиране на резултатите от симулациите: компютърни модели и рентгенови изображения. Софтуерният модул, използван за генериране на компютърни модели на млечна жлеза, се състои от няколко под-модула, които се използват за моделиране на нейните различните съставни компоненти: външна форма, жлезиста и мастна тъкан, различни видове лезии, кожа, кръвоносни и лимфни съдове. Модулът за симулиране на компресията включва дефиниране на желаната дебелина и този модул симулира механична компресия на млечната жлеза. Мамографски рентгенови изображения се получават при симулация на рентгенови лъчи, които се генерират в рентгеновата тръба, преминават през компютърния модел на гърдата, достигат до детектора, където се формира изображението. Това се осъществява от модула за генериране на рентгенови изображения. Полученият модел на млечна жлеза и генерираните мамографски изображения се изобразяват графично в модула за визуализация.

Разработената софтуерна платформа е използвана в изследване, което цели да моделира и симулира нова рентгенова технология, подходяща за скрининг и диагностика на млечна жлеза. Друго проучване цели да изследва ефекта на компресията, реализирана върху млечната жлеза по време на мамография по отношение на качеството на рентгеновите мамограми. За тази цел е генериран софтуерен модел на гърда, който е подложен на различна степен на компресиране и последващо генериране на мамографски изображения. Резултатът показва, че мамографските изображения, получени чрез използване на по-голяма компресия се характеризират с по-голям контраст на жлезистите и мастните тъкани и тяхното по-добро разграничаване. Последната симулация е свързана с изследване на характеристиките на рентгенови лъчи, които преминават през малка по размер, но много плътна млечна жлеза. Два мамографски спектъра са използвани при симулацията. Резултатите показват, че с увеличаването на енергията на фотоните от началния рентгенов сноп, средната енергия на лъчението, както и ъгъла на разпространение на вторичното лъчение жлеза, също се увеличават.

Тази софтуерна платформа и нейните функции ще подпомогнат разработването, тестването и оптимизацията на нови образни методи за скрининг на млечната жлеза, като например техники като томосинтеза, компютърна томография, техники основани на използване на две енергии за получаване на мамографско изображение както и за тестване и оптимизиране на специфични части от диагностичната верига, като рентгенов източник, детектор и геометрия на сканиране.

- [A10]. Sechopoulos I, **Bliznakova K**, Fei B, 2013, *Power spectrum analysis of the x-ray scatter signal in mammography and breast tomosynthesis projections*, Medical Physics, (impact factor: **2.635**), Oct, 40(10), pp. 101905-1 - 101905-7, ISSN: 00942405, DOI: 10.1118/1.4820442, cited in Scopus: 1 times, cited in Google Scholar: 4 times

Анализ на спектъра на разсеяното рентгеново лъчение в получените мамографски и томосинтезни изображения на млечната жлеза

Целта на тази научна разработка е да се анализират честотните характеристики на сигнала от разсеяното лъчение, регистрирано в мамографските изображения и в томографските равнини получени чрез томосинтеза на млечна жлеза на пациенти.

За това изследване са синтезирани 19 различни компютърни модела на млечна жлеза, от сканирани на компютърен томограф 19 пациенти. След това те са обработени, като вокселите са класифицирани да принадлежат към кожа, мастна или жлезиста тъкан. За тази цел е използван предварително валидиран и автоматизиран алгоритъм. Класифицираните тримерни изображения са подложени на симулация за механична компресия на млечната жлеза, подобно на процеса, който се извършва по време на мамография и томосинтеза. Симулация на рентгенови проекционни изображения на всеки един от тези 19 компютърни модела са реализирани чрез използване на Монте Карло техники. В резултат на всяка симулация се получават две изображения: едното изображение е получено от неразсеяното лъчение, а другото е получено само от разсеяни рентгенови лъчи.

За пълното анализиране на сигнала от разсеяното лъчение и за двете модалности: мамография и томосинтеза, са симулирани две проекции на всяка млечна жлеза: една проекция, когато източникът на рентгеново лъчение е разположен в 0^0 (мамография и централната проекция при томосинтезата) и при 30^0 (широка проекция при томосинтезата). Изчислени са мощността на спектъра на шума (NPS) и за двата разсеяни сигнала както и за общия сигнал (първичен + разсейване) за всички изображения, като крайният резултат е представен като комбинация от всички пациенти. Общата мощност на спектъра на шума е апроксимирана със следната функция $NPS(f) = k/f^\beta$ и резултатите са сравнени с тези, които са публикувани в научната литература. Такива данни съществуват за мощността на спектъра на рентгеновите мамографски изображения. От друга страна, разсейващото лъчение е анализирано и е извършено подобно апроксимиране както при общата мощност.

Анализирани са общо 19 женски гърди на реални пациенти. Стойностите β за общия сигнал, измерен за 0^0 проекционно изображение съвпадат с публикуваните в научната литература резултати. Мощността на спектъра на разсеяното лъчение се характеризира с бърз спад с увеличаване на пространствена честота. Стойностите β на разсейващия сигнал са изчислени както следва 6.14 и 6.39 за проекционните изображения получени за 0^0 и 30^0 , съответно.

Авторите заключават, че въпреки, че нискочестотните характеристиките на разсеяното лъчение в мамография и томосинтезата са донякъде известни, е бил необходим количествен анализ на тези честотни характеристики на този сигнал, за да се оптимизират правилно разработените софтуерни алгоритми за корекция на проекциите с цел намаляване влиянието на разсеяното лъчение. Такъв анализ е направен за първи път чрез това изследване.

- [A11]. Malliori A, **Bliznakova K**, Sechopoulos I, Kamarianakis Z, Fei B, Pallikarakis N, 2014, **Breast tomosynthesis with monochromatic beams: A feasibility study using Monte Carlo simulation**, Physics in Medicine & Biology, (impact factor: **2.761**), 59(16), pp. 4681-4696, ISSN: 00319155, DOI: 10.1088/0031-9155/59/16/4681, cited in Scopus: 1 times, Google Scholar: 1 times

Томосинтеза на млечна жлеза с монохроматични лъчения: изследователско проучване с помощта на Монте Карло симулации

Целта на това проучване е да се изследва реализацията на томосинтеза с по-ниска доза чрез използване на монохроматични лъчения. В статията се описват въздействието на тези рентгенови монохроматични лъчения върху качеството на получените проекционни и томографски изображения. За тази цел, две рентгенови техники: двумерна цифрова мамография и томосинтеза, са моделирани и симулирани. Симулацията е извършена с две рентгенови лъчения: едното е спектър от 28 kVp, а другото е монохроматично лъчение с енергия 19 keV. И двете лъчения са използвани за различна керма, варираща в границите между 0.16 mGy и 5.5 mGy.

Два компютърни модела на млечна жлеза с дебелина от 4 см в компресирано състояние са използвани в това симулационно изследване: единият модел е с хомогенно съдържание: 50% жлезиста тъкан и 50% мастна тъкан, а другият модел е моделиран въз основа на изображения от компютърна томография на млечна жлеза от пациентка. Съдържанието на втория нехомогенен модел на млечна жлеза е съставено от 40% жлезиста тъкан и 60% мастна тъкан. Моделирани са туморни и доброкачествени образувания (лезии), представляващи мастни образувания и микрокалцификати. Симулацията на мамографията и томосинтезата е реализирана така, че да имитира апаратурата на Siemens Mammomat, където сканиращата арка е 50°, а броят на мамографските проекции е 25. Тази апаратура е симулирана, за да могат резултатите да бъдат сравнени с тези от клиничната практика.

За симулиране на транспорта и взаимодействието на рентгеновите лъчи с моделираните тъкани на млечната жлеза, е използвана собствено разработена Монте Карло софтуерна платформа, предназначена за научни цели в рентгеновата образна диагностика. Резултатите показват, че за един и същ брой фотони достигащи до повърхността на моделите на млечна жлеза, използването на монохроматично лъчение с томосинтеза води до по-високо качество на получените рентгенови изображения (визуализация и контраст на детайлите) в сравнение с полихроматичното лъчение (както е в клиничната практика), особено по отношение на контраста на детайлите. За първия компютърен модел на млечна жлеза, характеризиращ се с хомогенно съдържание, използването на монохроматично лъчение води до подобряване на контраста на мастните детайли с 22%, а за калцификатите с 15%, докато за втория модел, с хетерогенна текстура, това подобрене е още по-изразено: 33% за мастните образувания и 17% за калцификатите.

Друг резултат от това изследване е свързан с различните входни дози и тяхното влияние върху визуализацията на лезиите. Симулациите показват, че за различните входни дози, използването на монохроматично лъчение с енергия 19 keV води до по-ниска средна доза на жлезистата тъкан в сравнение с полихроматичното лъчение. Монохроматичното лъчение също така води до по-добра визуализация на детайлите в томосинтезата и по-ефективна диагностика особено на ниско-контрастните мастни образувания.

Оригиналност:

- (1) моделиране и симулиране на томосинтеза със сложни модели на млечна гърда с използване на Монте Карло техники е представено за първи път;
- (2) софтуерната платформата е основа за изследвания на различни геометрии за реализация на монохроматична томосинтеза и оптимизиране на параметрите ѝ.

- [A12]. **Bliznakova K**, Russo P, Mettivier G, Requardt H, Popov P, Bravin A, Buliev I, 2015, **A software platform for phase contrast x-ray breast imaging research**, Computers in Biology and Medicine, (impact factor: **1.459**), Jun, 61, pp. 62-74, ISSN: 00104825, DOI: 10.1016/j.compbimed.2015.03.017, cited in Google Scholar: 1 times

Софтуерна платформа предназначена за изследвания на фазово-контрастни рентгенови изображения на млечната жлеза

Тази научна статия представя разработена и валидирана компютърна симулационна платформа, предназначена за научните изследвания в областта на фазово-контрастната рентгенова техника за получаване на изображения и евентуалното ѝ приложение за диагностика на млечната жлеза. Софтуерната платформа е разработена в Технически университет - Варна. За основа се използва софтуерната платформа *XRayImagingSimulator*, която е добре валидиран и утвърден инструмент, използван за научни цели в рентгеновата образна диагностика с модули за създаване на компютърни фантоми и за формиране на рентгенови изображения. Тези модули са актуализирани, за да се вземе предвид индекса на пречупване за дадена среда. Създаден е алгоритъм за моделиране на фазово-контрастни изображения, чрез реализиране на дифракционната теория на Френел-Кирхоф за разпространението на рентгенови вълни. Софтуерната платформа е разработена на Borland C++ с OpenMP.

За тестване и валидиране на платформа са моделирани три компютърни фантома, различаващи се по своята сложност и състав. Те са изработени и като физически модели и са подложени на облъчване с две монохроматични рентгенови лъчения от 25 keV и 60 keV на синхротронната линия ID17 в Европейската Синхротронна Радиационна Инфраструктура ESRF в Гренобъл, Франция. Трите физически фантома са: а) блок от плексиглас с размер 6 см x 6 см x 4 см с четири въздушни канала с диаметър 1 mm; б) блок от парафин с размер 6 см x 4 см x 2.5 см с три водни сфери, поставени на различна височина; в) блок от парафин с размер 6 см x 4 см x 2.5 см, запълнен с 27 водни сфери. Тези фантоми са използвани за получаване на двумерни изображения в абсорбционен и фазово-контрастен режими на линията ID17. Компютърните модели са използвани в симулационен експеримент, целящ възпроизвеждането на реалния експеримент. Сравнението на изображенията: визуално и въз основа на количествени показатели показва много добра корелация между симулирани и експериментални изображения. Това от своя страна очертава потенциала на тази софтуерна платформа за научни изследвания в областта на фазово-контрастната мамография.

След верифицирането на платформата е демонстрирано как тя може да се използва с доста по-сложни нехомогенни и антропоморфни модели на млечна жлеза за целите на получаване на фазово-контрастни изображения. Ефектът на фазовия контраст е забележителен: контурите на симулираните меки тъкани се открояват, което води до по-добра визуализация и класификация на отделните мамографски изображения. В случая, когато са използвани най-сложните модели на млечна жлеза, ефектът не е толкова подчертан, което предполага допълнително изследване и оптимизация на фазово-контрастната мамография. Очаква се ефектът да е забележителен и при наличие на аномалии в изследвания орган. Софтуерната платформа може да се използва също и за образователни цели.

Оригиналност:

- (1) цялостна софтуерна платформа, предназначена за научните изследвания на 2D и 3D фазов контраст на млечна жлеза, е представена за първи път;
- (2) симулация на сложни включително антропоморфни компютърни модели на млечна жлеза са представени за първи път.

- [A13]. Daskalaki A, **Bliznakova K** and Pallikarakis N, 2016, ***Evaluation of the effect of silicone breast inserts on X-ray mammography and breast tomosynthesis images: A Monte Carlo simulation study***, Physica Medica, (impact factor: **2.403**), 32(2), pp. 353–361, ISSN: 11201797, DOI: 10.1016/j.ejmp.2016.01.478

Оценяване на ефекта от силиконови импланти на видимостта на туморните образувания при рентгенова двумерна и тримерна мамография: Компютърно изследване, базирано на Монте Карло симулация

Увеличаването на бюста при жените е една от най-популярните козметични операции по целия свят. Пациентките със силиконови импланти на гърдите трябва да бъдат диагностицирани с рентгенови лъчи с различна енергия и доза, и това води до съставянето на различен протокол на облъчване. Тази необходимост е породена от факта, че протезите (имплантите), използвани за реконструкция или уголемяване на млечните жлези съдържат материал с по-висок атомен номер (Z) в сравнение с нормалната гръдна тъкан, и това може да повлияе на качеството на изображението и разпределението на дозата в обема на млечната жлеза.

Тази разработка изследва ефекта от поставянето на силиконов имплант в гърдата и как това влияе на възможностите за откриване на различни по вид лезии в мамографските двумерни и тримерни изображения.

За тази цел, са моделирани три софтуерни обекта, композирани от хомогенна маса с вградени структури от силиконов гел, както и два вида аномалии на гърдата, микрокалцификати и мастни образувания. Две рентгенови модалности, използвани при скрининг и диагностика на гърдата са компютърно моделирани и използвани в симулациите: двумерна планарна мамография и тримерна обемна мамография. Симулирани са шест вида рентгенови облъчвания с енергии в интервала между 20keV и 30keV и тяхното взаимодействие с компютърните модели. Проекционните изображения са генерирани с помощта на компютърна симулация, базирана на Монте Карло техники. Изследването включва определяне на влиянието на енергията на рентгеновото лъчение и дебелината на импланта върху откриването и визуализирането на туморните образувания. Софтуерната програма за симулациите е *XRayImagingSimulator*, реализирана на Borland C++.

Резултатите показват, че силиконови импланти с дебелина над 26мм закриват видимостта на основните структури и затрудняват значително откриването на туморни образувания в случая на използване на двумерна мамография. При използване на 3D мамография, дебелината на импланта, при която се наблюдава горният ефект е 14 мм. Въпреки, че томосинтезата на гърдата демонстрира значителна липса на контраст, тази модалност е в състояние да визуализира микрокалцификати, намиращи се на значителни дълбочини под импланта. Изследването също така показва, че облъчване с рентгенови лъчи с по-висока енергия води до по-добра визуализация на микрокалцификатите, докато в случая на изследване на кисти, детектирането остава ограничено. Това са иновативни резултати, които ще се вземат под внимание при диагностика на жени с импланти и най-вече за създаване на модифициран протокол за скрининг на такива жени.

В заключение, това изследване, базирано на софтуерна симулация показва, че силиконовите импланти влошават чувствително качеството на получените мамограми и откриването на туморни образувания е ограничено.

II. Публикации в рецензирани международни научни конференции, общо 8 броя

- [A14]. Hintsala H, Bliznakova K, Pallikarakis N, and Jämsä T, 2009, *Modelling of irregular breast lesions*, World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 7-12 September 2009, Munich, Germany, Volume 25/4 of the series IFMBE Proceedings, pp. 2024-2027, ISSN: 16800737, ISBN: 978-364203881-5, DOI: 10.1007/978-3-642-03882-2-537, cited in Scopus: 4 times, cited in Google Scholar: 7 times

Моделиране на лезии на гърдата с неправилна форма

Последните статистически проучвания показват, че броят на жените заболели от рак на млечната жлеза се увеличава. Смъртността обаче от тази коварна болест намалява в страните, в които стриктно се прилагат програмите за превенция. Основен фактор за ранното откриване на рака на гърдата е използването на мамографията.

CAD системите (computer-aided detection systems) могат да подпомогнат откриването на различните видове туморни образувания. За тяхното разработване и обучаване е необходимо наличието на голям брой изображения, съдържащи различни видове доброкачествени и злокачествени образувания. Такова наличие на изображения от пациенти е изключително предизвикателство, дължащо се на ограничен достъп до данните в случаите на раково заболяване. Компютърното моделиране и симулация предлагат отлична възможност за създаване на данни за такива нужди. Методология за генериране на 3D софтуерен модел на млечна гърда, предназначен за научните цели на мамографията е разработена от д-р К. Близнакова. Тази методология дава възможност да се моделира реалистична женска млечна жлеза. При тази методология, лезиите са моделирани с правилна форма (сфери, елипсоиди), които форми характеризират доброкачествените образувания. Има остра нужда от разработването на нов метод за генериране на модели на туморни образувания с неправилна форма, отразяващи в повечето случаи злокачествените заболявания.

Основната цел на това изследване е да се създаде методология за симулация на гръдни туморни образувания с неправилна форма и да се оценят за целите на мамографията. Тримерни компютърни модели са генерирани с така нар. „random walk” алгоритъм, които модели след това са обработени с различни техники за изображения. По-специфично, лезия с неправилна форма е генерирана чрез (а) алгоритъм на Броуново движение (Brownian motion) и (б) алгоритъм за автоматично разрастване на област около даден пиксел или група от пиксели (Nearest neighbour random walks). След първоначалното генериране на лезиите, е необходимо да се приложат допълнителни техники за пост-обработка на повърхността на лезията. Този процес включва (а) морфологически операции, (б) дилатация-затваряне и морфологическо изглаждане, (в) усредняване. Алгоритъмът е демонстриран за създаване на лезия с неправилна форма чрез използване на алгоритъма на Броуново движение. Следва усредняване с филтър. Полученият обем се обработва с повтаряща се дилатация. Следващите техники са затваряне и морфологическо изглаждане, приложени върху усреднения обем.

Моделираните лезии са добавени в компютърните модели на гърда и са използвани за получаването на мамографски рентгенови изображения. Симулираните мамографии показват, че прилагането на техники за обработка на първоначалните обеми, води до по-монолитно туморно образувание, в сравнение с генерираните образувания от първоначалните алгоритми (random walk, Brownian motion). Най-добри резултати и реалистичност на моделираните образувания се получават чрез усредняване и последващо морфологично изглаждане.

Компютърните модели на лезии с неправилна форма имат значително приложение в тестването на нови техники за ранно откриване рак на млечната жлеза.

- [A15]. Malliori A, **Bliznakova K**, and Pallikarakis N, 2010, ***A computer-based platform for digital breast tomosynthesis simulation studies***, Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine (ITAB 2010), 3-5 November 2010, Corfu, Greece, pp. 1-4, ISBN: 978-142446560-6, DOI: 10.1109/ITAB.2010.5687760, cited in Scopus: 1 times, cited in Google Scholar: 4 times

Компютърна платформа за симулационни изследвания на цифрова томосинтеза на млечна жлеза

Тази статия представя компютърна платформа, разработена на MATLAB за целите на прилагане на цифровата томосинтеза в научни проучвания, предназначени за образна диагностика на млечната жлеза. Разработени са специфични алгоритми за реконструиране на тримерни изображения от рентгенови проекции: алгоритъм на обратната проекция и алгоритъм на многобройните изображения (Multiple Projections Algorithm). Към тези алгоритми са разработени и няколко вида филтри, чието прилагане води до намаляване или напълно премахване на шума. Тези филтри могат да се приложат върху двумерните проекции или върху реконструираните томограми. Това са стандартен рампов филтър, sinc филтър, филтър на Ханинг, Гаусов филтър и полиномен филтър. Разработените алгоритми са интегрирани в компютърната платформа.

В статията е демонстрирано използването на компютърната платформа, в сравнителен анализ на качеството на изображенията, реконструирани с различни алгоритми. За тази цел е използвано софтуерното приложение *XRayImagingSimulator*. С негова помощ е моделиран компютърен модел на физическия фантом CIRS 010 на млечна жлеза, който съответства и отразява свойствата на една средно по големина компресирана млечна жлеза, по време на мамография. Софтуерното приложение е използвано за генериране на 21 синтетични рентгенови проекции при различна позиция на рентгеновата тръба и енергия от 19 keV. Симулираната модалност е цифрова томосинтеза.

Платформата е използвана за реконструирането на шест тримерни изображения от избран набор от изображения чрез прилагане на различни алгоритми в комбинация с различни видове филтри. Реконструираните изображения на млечната жлеза са оценени визуално и чрез сравнение на количествени параметри и показатели. Резултатите показват, че реконструкциите, получени чрез филтриране на първоначалните проекции се характеризират с по-голям контраст и по-лесно откриване на обектите в реконструираните равнини.

Компютърно-симулационната платформа ще позволи сравняването на резултатите, оптимизирането и по-нататъшното развитие на алгоритмите за тримерна реконструкция и премахване на шума на получените томограми. Проведеното с тази платформа изследване демонстрира възможността за оптимизиране и по-нататъшно разработване на алгоритмите за намаляване и на други видове артефакти при реконструирането на тримерни изображения от рентгенови проекции.

Оригиналност:

Разработена е компактна компютърна платформа за бързо и оптимално реконструиране на тримерни изображения от реални експериментални и симулационни опитни постановки. Използването ѝ по време на експериментални условия ще доведе до бързо получаване на реконструирани равнини и ако е необходимо, корекция на експерименталните условия с цел по-добро крайно изображение. Използването ѝ води до ефективност по отношение на време и ресурси.

- [A16]. Pallikarakis N and **Bliznakova K**, 2011, *Modelling and simulation in digital tomosynthesis*, 5th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering, 14-18 September 2011, Budapest, Hungary, Volume 37 of the series IFMBE Proceedings, pp. 23-26, Print ISBN: 978-3-642-23507-8, Online ISBN: 978-3-642-23508-5, DOI: 10.1007/978-3-642-23508-5_8, cited in Scopus: 1 times, cited in Google Scholar: 1 times

Моделиране и симулация при цифрова томосинтеза

Цифровата томосинтеза е метод за реконструкция на томографски изображения, получени в променяща се височина на реконструирани равнини, въз основа на ограничен набор от ъглови проекции, добити около човешкото тяло. С развитието на технологиите и широкото навлизане на плоските панелни детектори, цифровата томосинтеза получи голяма популярност, като потенциална техника за диагностика, използваща рентгенови изображения, за откриване на микрокалцификати в млечната жлеза, белодробни ракови образувания или за ранни етапи на зъбен кариес. Това са само някои от приложенията, за които тя се използва.

Преди навлизането на томосинтеза в клиничната практика, голям брой изследвания трябва да бъдат проведени, които да покажат приложимостта и възможностите ѝ, както и предимствата ѝ на диагностична техника или инструмент за превенция. Дава се акцент на ползите от прилагането на цифровата томосинтеза в области на диагностика чрез рентгенови изображения, които към настоящия момент показват данни за нисък процент от ранно откриване на ракови образувания. За да се улеснят по-горните изследвания и да се ускори прилагането и навлизането на цифровата томосинтеза в клиничната практика, се използват инструменти и техники за моделиране и симулация, които могат да демонстрират нагледно ползите от нея. С впечатляващия напредък на компютърните системи, увеличаването на изчислителната мощност чрез използване на клъстерни инфраструктури от работни станции и появата на специализирано програмно осигуряване, Моделирането и Симулацията се превръщат в нов мощен инструмент за успешното решаване на редица казуси преди тяхното изпълнение в практиката.

Целта на тази научна публикация е да представи и подчертае значимостта на методите за Моделиране и Симулация, при проучване и изследване приложимостта на цифровата томосинтеза като диагностична техника, използваща рентгенови изображения. Описани са методите на цифровата томосинтеза, както и различни начини на нейното моделиране и симулация. Показани са примери за прилагане и използване на техниките на моделиране и симулация за изучаване на различни аспекти на цифровата томосинтеза. Подчертава се и се демонстрира значимостта на тези техники за изследване и тестване на нови геометрии на облъчване, нови детектори, нови източници на облъчване, оптимизиране на параметрите на облъчване и образната диагностика, и как те биха допринесли за подобряване на качеството на медицинските изображения, и следователно за подобряване на диагностицирането на ракови заболявания. Примерите показват, че използването на модели и симулации подобрява разбирането ни за формиране на изображението, контраст, абсорбционна доза и др. Тестването на нови алгоритми на реконструкция изисква голям брой клинични снимки, които съдържат различни видове малформации. Често това е трудна задача и изисква много време, а също и одобрение от Етична комисия. Компютърно симулираните изображения предоставят изключителната възможност за тестване и верификация на реконструкционни алгоритми, разработени за специфични нужди, изискващи минимално време и бюджетни ресурси.

- [A17]. **Bliznakova K**, 2012, *In-line x-ray phase contrast imaging: Initial simulation studies with breast-like phantom for mammography applications*, 11th National Conference of the Bulgarian Society of Biomedical Physics and Engineering (BSBPE) and 6th Conference of the European Federation of Organizations for Medical Physics (EFOMP), 18-20 October 2012, Sofia, Bulgaria, In Proceedings, pp. 287-293, ISBN: 978-954-91589-3-9

**Образна диагностика с фазово-контрастна рентгенография:
Първоначални симулационни изследвания с обикновен фантом
за приложения в мамографията**

В днешно време, рентгеновата мамография се счита за златен стандарт за скрининг и ранна диагностика на млечната жлеза. Европейски проучвания в тази област показват, че смъртните случаи от рак на гърдата са намалели с около 37% при жените във възрастова група от 50 до 69 години, които са подложени на скрининг. Въпреки това, значителен брой от случаите на рак на гърдата все още остават незабелязани в началото на тяхното развитие. Основни причини за това са липсата на добър контраст между меките и туморните тъкани в двумерното изображение.

Целта на тази научна статия е да представи разработването на нова софтуерна платформа за моделиране и симулиране на фазово-контрастни изображения и да демонстрира използването ѝ в областта на диагностиката на млечни жлези. Софтуерната платформа се състои от две основни части: модул за създаване на обект и модул за формиране на рентгеново изображение. Този софтуер включва възможност за създаване на компютърни модели на човешки органи и части от тях и използването им в симулации на рентгенови изображения. Вторият модул се базира на понятието „трасиране на рентгенови лъчи“, като това включва определянето на позицията и посоката на лъча и неговите пресечните точки с моделираните обекти (модели на човешки органи). Интензитетът на даденото рентгеново лъчение, достигнал до даден пиксел от детектора се изчислява чрез закон на Буге-Ламберт и дифракционната теория на Френел-Кирхов.

С помощта на тази платформа, е моделиран тестов фантом, паралелепипед от плексиглас с дебелина 4 cm. Такива фантоми се използват да апроксимират млечна жлеза компресирана до средна дебелина. Този модел също съдържа цилиндрови канали с диаметър от 0.5 mm до 3 mm, запълнени с вода и разположени в различни равнини. Симулациите включват симулиране на планарна фазово-контрастна мамография и на традиционна мамография. Влиянието на разстоянието от обекта до детектора е изследвано. За цилиндър с диаметър 100 μm са изследвани абсорбционните и фазово-контрастните изображения, при разстояние от обекта до детектора 0.5 m, 1.8 m и 3.8 m. Резултатите показват, че при разстояние от 0.5 m се наблюдава фазов контраст при визуализацията на изображението.

Реалният експеримент е проведен на линията SYRMEP, в синхротронната инфраструктура ELETTRA Synchrotron Light Laboratory, Италия. SYRMEP използва рентгенови лъчи с много голяма интензивност и монохромност. Произведен е реален физически фантом, който е копие на софтуерния. Първичната енергия е 17 keV. Реалният експеримент потвърждава резултатите от симулацията. Контрастът на изображението на цилиндрови обекти е по-голямо при фазово-контрастната конфигурация.

Съществуващата компютърна платформа *XRayImagingSimulator* е актуализирана с нова подпрограма за симулиране на фазови-контрастни изображения от не сложни обекти, за два материала плексиглас и вода. Симулационните и експериментални резултати показват подобрение в контраста на границите на обектите, в режим на фазов контраст. По-нататъшно усъвършенстване е свързано със симулации на фазов контраст за по-сложни обекти и неговото приложение в случая на млечна жлеза и анализ на резултатите.

- [A18]. Malliori A, **Bliznakova K**, Daskalaki A, Pallikarakis N, 2013, ***Graphical user interface for breast tomosynthesis reconstructions: An application using anisotropic diffusion filtering***, XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2013, 25-28 September 2013, Sevilla, Spain, Volume 41 of the series IFMBE Proceedings, pp. 479-482, ISSN: 16800737, ISBN: 978-331900845-5, DOI: 10.1007/978-3-319-00846-2_119, cited in Google Scholar: 1 times

Графичен потребителски интерфейс за разработване на алгоритми за томосинтеза на млечна жлеза: Приложение, използващо анизотропно дифузионно филтриране

Томосинтезата на млечната жлеза е нова тримерна рентгенова техника за образна диагностика, прилагана на млечната жлеза, която използва набор от двумерни проекции получени при различна позиции на рентгеновата тръба. Реконструирания томографски изображения съответстват на сканирания обем на млечна жлеза. В днешно време, организацията FDA (Food and Drug Administration) е одобрила използването на томосинтезата за скрининг на млечната жлеза. В момента, една клинична система се предлага на пазара за експлоатация при контролни прегледи на пациенти, а други са в процес на разработване и тестване. Успоредно с разработването на тези клинични системи, активно се извършва и тяхната оптимизация. Това е свързано с оптимизиране на параметри свързани с геометрията на сканиране на самото устройство: разстояния, ъглова дъга и брой на проекциите, алгоритми за реконструиране на томографски изображения и др.

Тази статия представя разработването на графичен потребителски интерфейс към компютърна платформа за реконструиране на томографски изображения, разработена съвместно от екип към звеното по биомедицинска техника в университета на Патра, Гърция и звеното по биомедицинско инженерство от Техническия университет - Варна. Платформата е разработена на MATLAB и интегрира алгоритми, комбинирани с различни филтри, които могат да бъдат използвани преди или след реконструкция на изображението, с цел премахване на шума и други артефакти.

Разработеният интерфейс позволява реконструиране на изображения на млечна жлеза, които могат да бъдат симулирани или експериментално получени, използвайки изоцентрична геометрия (т.е. стабилен детектор) с паралелен или ветрилообразен лъчев профил. За алгоритъм на реконструиране може да се избере алгоритъм на обратната проекция и алгоритъм на многобройните изображения. Тези алгоритми могат да се комбинират с всеки от петте конструирани филтри – медианен, рампов, sinc, лентов, нелинейна анизотропна дифузия, дефинирани в полето „Филтри“. Първите четири филтри са представени в предишни публикации. Нелинейната анизотропна дифузия е филтър, разработен в рамките на това проучване. В полето допълнителни опции е възможно избирането на различни допълнителни пост-обработки след реконструкция на изображението, анализ на томограмата с параметри като отношение контраст-шум, контраст, абсорбирана доза и др. В това проучване, графичният интерфейс на платформата е бил използван за оптимизиране на параметрите на нелинеен анизотропен дифузионен филтър, комбиниран с алгоритъма на многобройните изображения за визуализация на ниско-контрастни обекти, каквито за мастните образувания.

Оригиналност:

- (а) разработеният интерфейс дава възможност лесно и бързо да се постигне оптимизация на дадена техника за реконструкция на тримерни изображения;
- (б) разработен е и представен за първи път нелинеен анизотропен дифузионен филтър за визуализиране на ниско-контрастни туморни образувания.

- [A19]. **Bliznakova K**, Buliev I, Bliznakov Z, Kolev N, Kolev J, 2013, ***Study of suitability of new materials for use with physical breast phantoms***, E-Health and Bioengineering Conference (EHB 2013), 21-23 November 2013, Iasi, Romania, pp. 1-4, Print ISBN: 978-1-4799-2372-4, DOI: 10.1109/EHB.2013.6707335, cited in Google Scholar: 2 times

Проучване за приложимост на нови материали за създаване на физически фантоми на млечна жлеза

Физическите модели на млечна жлеза играят важна и решаваща роля в тестването и оптимизирането на рентгеновите техники с цел подобряване на качеството на медицинските изображения. Едно от най-важните приложения е използването им като средство за оценяване и проверка на клинични протоколи, които се използват в ежедневната клинична практика на модалностите, използващи рентгенови лъчи: като например, оценка на дозата, на входящата радиация, регулиране на началната енергията, т.н. Друго важно приложение на тези фантоми е използването им за тестване, оценка и изясняване на ролята и ползите от новите рентгенови модалности, като например томосинтеза, компютърна томография, двойно-енергийна модалност и др., с цел своевременно откриване и правилно диагностициране на специфични видове туморни образувания в млечната жлеза. Въпреки неотложната нужда от тези фантоми, тяхното произвеждане среща трудности, свързани с (а) ограничения в принципа на работа на наличните принтиращи технологии, (б) липса на подходящи материали за принтиране, (в) ограничения, налагани от софтуера на принтера (ограничения в размера на обекта).

Тази разработка представя предварителни резултати, базирани на компютърни симулации, имащи за цел да изследват смеси, от епоксидна смола и йод на прах в определени съотношения, като заместители на тъкани във физическите фантоми на млечна жлеза, предназначени за рентгенови тествания. Това изследване е част от дългосрочна цел на екипа, а именно да се разработи, тества и оцени цялостна технология за производство на физически модели на човешки органи и структури от техните 3D софтуерни модели. По същото време е подадено и патентно приложение за реализирането на 3D принтер с две дюзи, използващи два материала, като количеството на всеки един от материалите се изчислява от алгоритъм, разработен специално за целите на този принтер. Двата основни материала са епоксидна смола и йод на прах. Симулирани са смеси от двата материала в съотношение 0 до 100%. За сравнение са моделирани и 9 други материала, които се използват широко в радиологията: мастна тъкан, жлезиста тъкан, BR-12, плексиглас, полиетилен, парафин, поликарбонат, вода, епоксидна смола. За всеки материал, са моделирани абсорбционните коефициенти за енергии на рентгеновото лъчение в диапазона 10 keV - 32 keV.

Резултатите показват, че ако в сместа епоксидна смола-йод се използва йод с тегло, вариращо между 0% и 1.8% от общата маса на сместа епоксидна смола-йод, то тогава свойствата на получената смес са близки до тези на реалните тъкани на гърдата. Представена е реализация на туморно образувание с размазани контури и променяща се плътност, като концентрацията на йод е по-голяма в централната област на образуванието. По-нататъшни стъпки са свързани с експериментална верификация на симулираните смеси. Пригответни са няколко физически фантома със смеси на епоксидна смола и йод, и тествани в синхротронната инфраструктура ESRF в Гренобъл, Франция.

Оригиналност:

Реализирано е основно компютърно изследване за подходящи материали, които могат да се използват като заместители на човешки тъкани. Резултатът е база за реализирането на подаден патент за конструиране на 3D принтер, използващ 2 основни материала, които се смесват по подходящ начин за изработването на 3D фантоми, съдържащи нехомогенни области с размити граници.

[A20]. Pallikarakis N and Bliznakova K, 2013, ***Simulation studies in medical x-ray tomographic imaging***, E-Health and Bioengineering Conference (EHB 2013), 21-23 November 2013, Iasi, Romania, pp. 1-6, ISBN: 978-147992373-1, DOI: 10.1109/EHB.2013.670739, cited in Google Scholar: 1 times

Симулационни изследвания в медицинската рентгенова томография

Компютърното моделиране и симулация са инструменти, които се използват най-вече за развитието на нови образни диагностични техники и свързаните с тях технологии. Компютърното моделиране и компютърната симулация са ключов инструмент, когато става дума за проектиране, тестване и оценка на ефективността на новите машини за образна диагностика, преди реализацията им в клиничната практика. Една от основните функции на компютърните програми е използването им за усъвършенстване на диагностичните образни техники, базирани на рентгеново лъчение. Такава техника е например томосинтеза на млечната жлеза, която е нова техника за получаване на тримерни изображения на гърдата, имаща потенциала да извлече допълнителна диагностична информация в сравнение с традиционната позната двумерна мамография. Въпреки това, има ред въпроси касаещи клиничното им приложение и в такива случаи моделирането и симулациите могат да дадат отговор.

Тази обзорна статия, авторите на които са поканени гост лектори на IEEE конференцията в Яш, разглежда по-горните въпроси в областта на рентгеновите томографски изображения. Примерите, които са демонстрирани включват томография на млечна жлеза и на човешки мозък. В статията се засяга изключително темата за моделирането и симулирането. Представят се основните компоненти на една симулационна система за образна диагностика в детайли: (а) модул за компютърно моделиране на пациент, (б) модул за компютърно моделиране на геометрията на образно диагностично устройство и (в) компютърен код за симулация на взаимодействието на рентгеновата радиация с пациента и с детектора на устройството. В първия компонент се представят различните подходи за моделиране на пациент: използване на геометрия, базирана на монолитни тела, вокселни матрици или контури. Дава се фокус на модели от геометрични примитиви (елипсоид, конус, куб, цилиндър и др.), както и на модели базирани на тримерни матрици от образни техники (магнитен резонанс, компютърна томография и др.). Към втория компонент спадат начините за виртуално моделиране на самото устройство, включвайки рентгеновата тръба, детектора и геометрията, която се използва за сканиране на пациента. Към последния компонент спада моделиране на транспорта на рентгеновите частици през моделираната система и взаимодействието на тези частици (фотони и електрони) с пациента и детектора.

Тези компоненти заедно са демонстрирани в конкретни симулационни приложения, в които авторите са участвали: (а) компютърно изследване за евентуално използване на синхротронната радиация в мамографията и дали това използване ще доведе до по-ниски пациентски дози по време на прегледа. За тази цел са осъществени: (а) моделиране и симулиране на томосинтеза и традиционна двумерна мамография; (б) компютърно изследване на последиците от не-детектирано на време туморно образуване; (в) използване на компютърните модели за оптимизиране на физически модели за тестване на нови техники; (г) използване на компютърната платформа за тестване на нова техника – двойно-енергийна компютърна томография на мозъка за по-добро разграничаване на сиво и бяло вещество при изследване на мозъка с цел ранна диагностика на болестта на Алцхаймер.

Компютърното моделиране и симулация са важен инструмент за проучване на нови геометрии, нови детектори и нови рентгенови източници за по-добро качество на изображението. Те допринасят за своевременно и правилно диагностициране на туморни образувания.

- [A21]. **K. Bliznakova**, Z. Kamarianakis, I. Buliev, 2016, **Computer-based platform for phase contrast tomosynthesis: Targeting an application for breast imaging**, XIV Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2016, MEDICON 2016, 31 March - 2 April 2016, Paphos, Cyprus, Volume 57 of the series IFMBE Proceedings, pp. 367-371, Print ISBN: 978-3-319-32701-3, Online ISBN: 978-3-319-32703-7, DOI: 10.1007/978-3-319-32703-7_72

Компютърна платформа за фазово-контрастна томосинтеза: Приложение за образна диагностика на гърдата

Томосинтезата е нова тримерна рентгенова техника, която използва от 9 до 25 проекции на млечната жлеза, получени с ниска доза при ротация на рентгеновата тръба около гърдата. Опитът от клиничните изследвания показва, че използването на томосинтеза в комбинация с цифрова мамография дава по-добри резултати по отношение на диагностиката на млечната жлеза. Резултатите показват, че все още по отношение на чувствителността, томосинтезата демонстрира леко подобрение в сравнение с двумерната мамография. Използването на фазовия контраст може да допринесе за още по-добро качество на изображенията. В днешно време, научни екипи изследват възможността за комбиниране на фазов контраст и томосинтеза с цел по-добро разграничаване и детектиране на ниско-контрастните туморни образувания. Прилагането на тази комбинация може да доведе до усилване на контурите на туморните образувания и по-добра диагностика. Научното развитие в тази област налага неминуемо необходимостта от използването на компютърни симулации.

Тази статия представя цялостна софтуерна платформа предназначена за изследвания в областта на фазово-контрастната томография. Описана е програмна платформа, състояща се от два основни модула: (а) модул за генериране на рентгенови фазово-контрастни изображения от различни компютърни модели и при различни геометрии на сканиране и (б) модул за реконструиране на изображения, с цел получаване на томограми. Модулът за генериране на фазово-контрастни планарни изображения се състои от следните под-модули: (а) модул за създаване на компютърен модел на изчислителен модел на обект или човешки орган, тъкан или част от тях, (б) модул за определяне на геометрията за получаване на планарните изображения и (в) модул за формирането на самите изображения. Модулът за реконструиране на планарните изображения е базиран на софтуерно приложение на C++ и оформено като обектно-ориентирана библиотека.

Платформата е тествана в две приложения: моделирани са два модела на компютърни обекта и те са използвани за генериране на 50 планарни рентгенови изображения при ротация на двойката рентгенов източник-детектор около обектите в дъга от -34° до 34° . Получените изображения са реконструирани с модула за реконструкции. Единият компютърен модел е паралелепипед от плексиглас с дебелина от 4 см и 4 въздушни канали с диаметър 1 мм. Вторият модел е правоъгълен полистиренов контейнер с дебелина 2 см, запълнен с епоксидна смола, в която изкуствено са създадени въздушни мехурчета. Подробно е описана процедурата за симулация на изображенията, получени в режим на томосинтеза. Разстоянието от рентгеновия източник до обекта е 144 м, а до детектора е 155 м. 17 изображения с размер 10000 x 10000 пиксела и резолюция 5 μm са симулирани. Енергията на рентгеновия лъч е 50 keV.

Симулациите са валидирани с помощта на експериментално изследване, проведено на линия ID17, в ESRF, Гренобъл, Франция. Резултатите показват добро визуално съвпадение между симулирани и експериментално получени двумерни и тримерни изображения. Разработената софтуерна платформа може да се използва за изследвания на нови образни рентгенови техники, базирани на явлението фазов контраст.

**Б. ПУБЛИКАЦИИ ИЗВЪН ГРУПАТА РАВНОСТОЙНИ НА
МОНОГРАФИЧЕН ТРУД**

- I. Публикации в рецензирани международни научни списания,
общо 13 броя

- [Б1]. Ivanova T, Bliznakova K, Pallikarakis N, 2006, *Simulation studies of field shaping in rotational radiation therapy*, Medical Physics, (impact factor: **2.635**), 33(11), pp. 4289-4298, ISSN: 00942405, DOI: 10.1118/1.2358200, cited in Scopus: 1 times, cited in Google Scholar: 7 times

Симулационни изследвания за пространственото оформяне на радиационното поле при ротационна лъчетерапия

Цел на всяка модерна 3D лъче-терапевтична система е да осигури подходяща терапия за точно определен обем (туморния обем), без да надхвърля допустимата доза за съседните здрави тъкани и органи. Има различни техники за постигане на това. Много от тях са скъпи, а други неефективни.

Тази статия представя симулационни изследвания в областта на ротационната лъчетерапия, реализирана с помощта на два вида лъче-модифициращи устройства: протектори и оформящи блокове. Протекторите са умалени копия на органите, които трябва да се защитят по време на лъчетерапия (така нар. органи изложени на риск). Тези протектори винаги се намират паралелно на органите, които се защитават по време на въртене на източника на мегаволтово рентгеново лъчение около пациента. По този начин, при всяко въртене, органът под риск винаги попада в защитната сянка на протектора, което води до значително намаляване на облъчването на този орган. От друга страна, оформящите блокове се използват, за да се получи по-равномерно разпределение на терапевтичната доза в планирания обем (където е туморното образуване), като тяхната първоначална ориентация се запазва по време на ротация на лъчевата тръба. По този начин, използването на лъче-модифициращите устройства позволява модулиране на интензитета на рентгеновото лъчение, и по този начин може да се постигне облъчване по най-оптималния начин от всяка позиция на лъчевата тръба.

За тази цел, е разработен софтуерен модул, който изчислява позицията и размерите на лъче-модифициращите устройства, като използва информация за формата, размера, позицията на органа, който трябва да се защити. Този модул е интегриран в софтуерния пакет MCRTS, който използва Монте Карло техники за симулиране на процесите в лъчетерапията. Софтуерът е интегрирана софтуерна среда, реализирана на Borland C++, състояща се от няколко основни модула за моделиране на (а) геометрията на симулираното лъче-терапевтично устройство, (б) рентгеновото лъчение, (в) 3D матрица на дозата, (г) симулиране на радиационния транспорт на фотоните и електроните и тяхното взаимодействие със средата, (д) формиране на изображение от детектора и (е) 3D визуализация на конструираната постановка на симулация.

Два модела на човешка шия са използвани в изследванията: модел, базиран на геометрия на твърдо тяло и вокселен модел, получен от изображения от компютърна томография. Симулираната лъче-терапевтична система е ELEKTA SL75-5 с рентгенов спектър от 6 MV. Въртенето на рентгеновата тръба е изоцентрично от 0° до 360° със стъпка 2°. За дадената терапия е изчислена радиационната доза, която да се получи в моделирания обем. Верификацията на софтуерната платформа показва много добро съответствие между дозите изчислени чрез симулация и получени чрез експеримент. Относителната грешка е под 3%.

С тази платформа е изследвана ефективността на оформящите блокове да модифицират разпределението на дозата извън защитената зона. Резултатите показват че използването на оформящи блокове води ефективно до подобряване на хомогенността на разпределението на дозата. В заключение, ротационната терапия с лъче-модифициращите устройства предлага адекватна защита на органа, който се намира под риск и равномерно разпределение на дозата извън защитената област, т.е. в областта на терапия, в която се намира туморното образуване.

- [Б2]. Ivanova T, **Bliznakova K**, Malatara G, Kardamakis D, Kolitsi Z, Pallikarakis N, 2009, ***Simulation studies on the effect of absorbers on dose distribution in rotational radiotherapy***, Physica Medica, (impact factor: **2.403**), 25(4), pp. 172-180, ISSN: 11201797, DOI: 10.1016/j.ejmp.2008.12.001, cited in Scopus: 2 times, cited in Google Scholar: 2 times

Симулационни проучвания за изследване на влиянието на абсорбиращите блокове върху разпределението на дозата при ротационна лъчетерапия

Лечението на туморни образувания, разположени в близост до гръбначния стълб, е голямо предизвикателство в областта на лъчетерапията: постигането на адекватна радиационна доза е често изключително трудно в тези случаи поради близостта на тумора до гръбначния мозък. В резултат на това, планирането на лечението в тези случаи трябва да бъде компромисно решение, за да осигури еднаква доза в туморното образувание, но да запази без облъчване околните здрави тъкани. Това може да се реализира, чрез използване на интензивна модулирана лъчетерапия (IMRT технология), която се оказва ефикасен начин за постигане на желаната доза. Използването на защитен материал (абсорбер) в радиационното поле, обаче засяга еднородността на дозата извън защитената област и води до по-ниски дози в туморното образувание.

Тази научна статия представя един нов алтернативен начин на лечение, който е базиран на ротационна техника, тествана симулационно. Изследвано е влиянието на размерите, материалите и позицията на цилиндричния абсорбиращ блок, разстоянието от източника на ускорителя до органа, който трябва да се защити върху примерното разпределение на дозата при ротационната терапия. Целта е да се изследва този ефект и да се оцени потенциала на тази алтернативна техника за защита на малки радиационно-чувствителни структури, като например гръбначния мозък.

За тази цел е използвана собствено-разработена софтуерна платформа наречена MCRTS, която е базирана на Монте Карло техники и симулира взаимодействието на електрони и фотони с материята. Софтуерната платформа MCRTS е разработена на Borland C++. Изчисляването на дозата става като се изчисли отдадената енергия на електрони и фотони в моделирания пациент. Всички взаимодействия на радиационните частици - фотони и електрони с материята, които възникват в диапазона до 6 MV са моделирани. Времето за симулация на ротационна лъчетерапия варира между 24 часа, за малките по диаметър протектори и малко радиационно поле, и до 90 часа, за протекторите с най-големите диаметри и размер на полето $10 \times 10 \text{ cm}^2$.

Моделирани са нови композитни материали, направени от смесване на метал (олово, волфрам, злато и cerrobend) и полимери (найлон, ABS, смола). Верификацията е направена с експериментални резултати от проведени експерименти на линеен ускорител ELEKTA SLi Plus, 6 MV рентгеново излъчване в Университетската болница в Патра, Гърция. Относителната грешка между измерени и симулирани стойности за линейния коефициент на абсорбция е по-малка от 1% за всички изследвани материали.

Резултатите от тези симулации допринасят за по-дълбоко разбиране за това как геометрията и материалните характеристики на протекторите влияят на разпределението на дозата при ротационната лъчетерапия. Следните важни изводи са направени: (1) диаметърът на протектора и неговата плътност са основните параметри, които влияят на дозата в защитената област, (2) установена е линейна зависимост между дозата в центъра на защитената област и размера на радиационното поле, (3) новите композитни материали имат свойства, подобни на тези на оловото и демонстрират добро разпределение на дозата в защитената част - следователно те могат да служат като заместител на оловото (което е токсично) за защита на критични органи при лъчетерапия.

- [Б3]. **Bliznakova K**, Kolitsi Z, Speller R, Horrocks J, Tromba J, Pallikarakis N, 2010, *Evaluation of digital breast tomosynthesis reconstruction algorithms using synchrotron radiation in standard geometry*, Medical Physics, (impact factor: **2.635**), 37(4), pp. 1893-1903, ISSN: 00942405, DOI: 10.1118/1.3371693, cited in Scopus: 17 times, cited in Google Scholar: 20 times

Оценка на реконструкционни алгоритми за цифрова томосинтеза на млечна жлеза при използване на синхротронно лъчение

Томосинтезата е нова диагностична образна техника, която има потенциал да осигури допълнителна информация необходима за диагностиката на туморните заболявания в сравнение с традиционната мамография. Много от параметрите обаче на тази техника трябва да бъдат оптимизирани, в зависимост от дебелината на компресираната гърда.

Целта на настоящата научна работа е да се изследва ползата от използване на монохроматични лъчи при томосинтеза на млечната жлеза. Това включва конструиране на експериментална опитна постановка, разработване на алгоритми за реконструкция на изображения, получени за дадената експериментална геометрия, оценка на качеството на реконструирания изображения, и дискусия за приложението на тази нова техника за диагностика на млечната жлеза.

Изследването се провежда за първи път на синхротронна инфраструктура. Екипът печели проект за провеждане на експеримента на SYRMEP beamline в ELETTRA Synchrotron Light Laboratory, Триест, Италия. Използван е собственоръчно направен фантом, който имитира млечна жлеза с нееднородна текстура и различни образувания: калцификати с различен размер и ниско контрастни лезии. 21 изображения са получени с този фантом при енергия на рентгеновото лъчение от 19 keV, разстояние 23 м от източника на рентгенови монохроматични лъчи до обекта на облъчване и детектор, поставен непосредствено зад обекта.

За реконструиране на облъчения обем са разработени 4 алгоритъма: (1) алгоритъм на множествените проекции (2) алгоритъм на обратната проекция с прилагане на Рампов филтър и Хамингов прозорец, (3) алгоритъм на обратната проекция с Рампов филтър и (4) алгоритъм за намаляване на шума в реконструирания изображения. Последният алгоритъм е иновативен. Тестовите показват, че новата техника успешно произвежда изображения с висока резолюция и контраст, които могат да бъдат реконструирани в тримерен обем. Използването на четвъртия алгоритъм води до по-високо отношение на контраст-шум (CNR), сравнено с отношението контраст-шум на втория алгоритъм за високо-абсорбиращи детайли, каквито са калцификатите. Ниско-контрастните обекти, като например мастните образувания, са добре визуализирани и се характеризират с високо отношение на контраст-шум при използване на първия и четвъртия алгоритъм.

От реализираните алгоритми за реконструиране на равнини, първият и четвъртият алгоритъм са добър избор за откриване и диагностика на ниско-контрастни обекти (мастни образувания). В случая на високо-контрастни калцификати, вторият и третият алгоритъм осигуряват високо съотношение контраст-шум на дадения детайл.

Оригиналност:

(1) за първи път е тествана техниката томосинтеза на млечна жлеза на синхротронна апаратура; (2) разработени са 4 алгоритъма за реконструиране на равнини по зададената експериментална постановка; (3) определени са кои алгоритми са подходящи за ниско-контрастни обекти и кои са подходящи за високо-контрастни обекти; (4) определено е как влияе ъгловия обхват и броя на началните проекции върху качеството на реконструирания равнина.

- [Б4]. Malliori A, **Bliznakova K**, Speller R, Horrocks J, Rigon L, Tromba G and Pallikarakis N, 2012, **Image quality evaluation of breast tomosynthesis with synchrotron radiation**, Medical Physics, (impact factor: **2.635**), 39(9), pp. 5621-5635, ISSN: 00942405, DOI: 10.1118/1.4747268, cited in Scopus 9 times, cited in Google Scholar 8 times

Оценка на качеството на томографското изображение, получено при цифрова томосинтеза на млечна жлеза със синхротронно лъчение

Това изследване е продължение на предходното изследване за разработка и оценка на прилагането на томосинтеза на млечната жлеза на синхротронна инфраструктура. Целта на настоящата разработка е да се направи оптимизация на алгоритмите за реконструкция и на самата сканираща геометрия (енергия, брой изображения, дъга). За тази цел е използван антропоморфен модел на млечна жлеза, който модел съответства на 4.5 см компресирана млечна жлеза със състав от 50% мастна и 50% жлезиста тъкан. Във фантома са включени детайли, които имитират различни гръдни лезии, поставени в нехомогенен фон. Проекционни изображения са получени на синхротронната инфраструктура ELETTRA, Триест, за ъгли на сканиране от 24°, 32°, 40°, 48° и 56° при избрана монохроматична енергия от 17 keV. Томограмите са реконструирани с класически алгоритъм на множествените проекции и негова модифицирана версия с прилагане на предварително филтриране. В последния случай, са използвани: усредняващ филтър, Sinc филтър, както и комбинация от тези два филтъра, които се прилагат върху експерименталните данни преди започването на реконструкцията.

Филтрите се оптимизирани да реконструират обекти с различни абсорбционни характеристики и размери. Прилагането на двата филтри води до по-добра визуализация и по-добро отношение контраст-шум при реконструиране на детайл с диаметър 6 мм и с нисък контраст (наподобяващ мастно образуване). Тези ниско-контрастни детайли са по-добре визуализирани при голяма арка (дъга) на сканиране, като например арка от 56° с получени 15 рентгенови проекции в рамките на тази дъга показва най-високо качество на реконструираните изображения.

За микрокалцификатите, алгоритъмът на множествените изображения с филтриране, осъществяващ комбинация от усредняващ и sinc филтри, води до по-добра визуализация на високо-контрастните детайли, поради ефективното подтискане на фоновия шум, предизвикан от наслагването на рентгеновите отражения на нормалните тъкани. Качеството на реконструираните високо-контрастни детайли е по-малко чувствително към големината на сканиращата арка. Калцификати с размер в диапазона от 170 μm до 500 μm , са отлично детектирани и визуализирани при използване на всички тествани дъги (24°, 32°, 40°, 48° и 56°). В статията се дава сравнение на проекционни изображения, получени при различни сканиращи дълги. Това сравнение показва, че използването на монохроматично рентгеново лъчение може доведе до получаването на изображение с висок контраст и ниско ниво на шума в сравнение с изображение, което се получава с традиционната маммографска рентгенова апаратура.

Резултатите показват, че е необходима оптимизация на филтъра по отношение на вида на детайлите, които се реконструират. Използването на монохроматични рентгенови лъчения води до получаването на томографски изображения с висок контраст, получени при по-ниски входящи дози.

Оригиналност:

- (1) оптимизиране на алгоритмите за реконструиране на томосинтеза от изображения на синхротрон, по отношение визуализацията на мастни образувания и на калцификати;
- (2) оптимизиране на геометрията за томосинтеза: за скрининг на ниско-контрастни и високо-контрастни детайли.

- [B5]. Rodina-Theocharaki A, **Bliznakova K**, Pallikarakis N, 2012, **Markov chain Monte Carlo simulation for projection of end stage renal disease patients in Greece**, Computer Methods and Programs in Biomedicine, (impact factor: **1.964**), 107(1), pp. 90-96, ISSN: 01692607, DOI: 10.1016/j.cmpb.2011.09.012, cited in Scopus: 4 times, cited in Google Scholar: 6 times

Оценяване на броя на пациентите в последен стадий на бъбречна недостатъчност в Гърция, базирано на метода Монте Карло Маркови вериги

Бъбречната недостатъчност е загуба на основните бъбречни функции. Пациентите в последен стадий на бъбречна недостатъчност са тези на хемодиализа или подложени на бъбречна трансплантация. Последният стадий на бъбречна недостатъчност остава един от най-важните клинични проблеми на 21-ви век, въпреки прогреса на медицинските технологии и програми за предотвратяване на болестите. Това е хронична болест, причинена от различни видове увреждания на бъбреците и за съжаление има сериозно влияние върху живота на пациентите, страдащи от тази болест. Методите за лечение на пациенти в последен стадий на бъбречна недостатъчност се оценяват измежду най-скъпите процедури за хронични заболявания в целия свят.

През последното десетилетие, Гърция е сред страните с най-висок процент на нови заболявания и на общ брой заболявания, докато в същото време Гърция е с най-нисък процент на реализирани бъбречни трансплантации. Предвиждането на броя на бъдещите пациенти за бъбречна трансплантация е от съществено значение за доставчиците на здравни услуги, с цел постигането на по-ефективно управление на ресурсите.

Тази научна статия представя нов подход за предвиждане броя на пациентите с бъбречна недостатъчност в последен стадий за периода 2009-2020 в Гърция. Разработен е и е реализиран е алгоритъм, базиран на Монте Карло техники, приложени върху вероятностни разпределения на конструиран верижен модел на Марков. Началните данните са взети от *European Renal Association – European Dialysis and Transplant annual reports* за годините от 1998 до 2008. Пациентите са класифицирани в три категории: до 45 (<45), между 45 и 65 (45–65) и възрастни над 65 (>65). Метод на най-малките квадрати е използван за определяне на коефициентите на преходната матрица, която съдържа вероятностни коефициенти.

Моделът предвижда, че до 2020 година броят на пациентите в Гърция в последна фаза на бъбречна недостатъчност ще се увеличи до 15147. Освен това е извършен сравнителен анализ на разходите. За тази цел е симулиран сценарий, при който постепенно се намалява броя на пациентите на хемодиализа в полза на увеличаване на пациентите за трансплантация до 2020 година. Усреднената годишна себестойност на пациент за терапия с хемодиализа и перитонеална диализа е равна на 36247 евро и 30719 евро, съответно. Разходите за трансплантация от жив донор за първата година от терапията е 33318 евро, а за втората година 5379 евро, а за всяка следваща е 5238 евро. Вземайки в предвид това, резултатите от този сценарий показват, че държавата ще спести около 86.54 милиона евро за периода 2009–2020, ако приложи сценария с постепенното намаляване на пациентите на хемодиализа в полза на увеличаване на пациентите за трансплантация, в сравнение с базовите прогнози.

Резултатите показват, че увеличаването на броя на трансплантациите може да доведе до намаляване на финансовите задължения на здравните институции и в същото време да подобри качеството на живот на пациентите.

- [Б6]. **Bliznakova K**, Dermitzakis A, Kamarianakis Z, Bliznakov Z, Buliev I, Pallikarakis N, 2014, ***Modelling of small CFRP aerostructure parts for X-ray imaging simulation***, International Journal of Structural Integrity, (impact factor: **0.795**), 5(3), pp. 227-240, ISSN: 17579864, DOI: 10.1108/IJSI-02-2014-0009, cited in Google Scholar: 1 times

Моделиране на малки композитни аеро-структурни части предназначени за симулации на рентгенови техники

В днешно време композитните материали навлизат все по-широко в самолетостроенето. Предвижда се, повече от 50% от структурните части на следващото поколение самолети (като например AIRBUS 350 XWB) да бъдат направени от композитни материали, което ще доведе до по-големи изисквания по отношение тестването на тези материали за евентуални дефекти, като кухини, липса на запълваща смола, образуване на пори и разслояване. Такива изисквания включват изследване на съществуващи и нови методики за неразрушителен контрол, базирани на рентгенови изображения и предназначени за тестване на аеро-структурни части и компоненти.

Целта на тази научна работа е да разработи реалистичен компютърен модел на аеро-структурни части, изработени от полимери подсилени с въглеродни влакна (ППВВ), предназначени за изследване и верификация на използването на рентгеново-базирани техники за образна диагностика, като метод за неразрушителен контрол на аеро-структурни части в самолетната индустрия.

Методологията за дизайн и конструкция на ППВВ е следната. ППВВ съдържат слоеве от снопове въглеродни влакна, залети със смола. Ориентацията на сноповете въглеродни влакна в различните слоеве е строго определена и зависи от местоположението на самия слой по отношение на другите слоеве. В настоящия модел, всеки сноп от въглеродни влакна е симулиран като кръгов цилиндър с диаметър няколко микрометра. Цялостният модел на аеро-структурната част се състои от насложени един върху друг слоеве от еднопосочни въглеродни снопове. Сноповете в тези слоеве имат ориентация на $0^\circ / 90^\circ / 45^\circ / -45^\circ$. Два вида аеро-структури, използващи ППВВ, са моделирани: плоска панелна структура и реална структура на клипс-скоба. Симулирани са два вида дефекти във всеки компютърен модел: (1) порест слой и (2) не-въглеродни елементи. Генерирани са софтуерни рентгенови изображения със специално разработена симулационна платформа. Симулирани са три рентгеново-базирани постановки: рентгенография, томосинтеза и конусна компютърна томография.

Резултатите показват, че двата вида дефекти (порьозност и не-въглеродни елементи) се детектират и с трите вида рентгеново-базирани техники. Цифровата томосинтеза и конусната компютърна томография, обаче, предоставят значително по-високо качество на получените тестови изображения.

Авторите демонстрират практическата полза от компютърната методология за генериране на модели на аеро-структурни части, съставени от ППВВ. Разработеният софтуер е ценен инструмент в проектирането, тестването и оптимизацията на рентгенови техники за образна диагностика, предназначени за използването им в неразрушителен контрол и тестване на композитни материали. За генерирането на рентгенови изображения на модели, базирани на ППВВ е необходимо сравнително малко време, като по този начин, резултатите от първичната виртуална оптимизация и тестване биват налични изключително бързо и на ниска цена.

Оригиналността и научният принос на тази работа се състои в предложени иновативен компютърен модел на ППВВ аеро-структури, предназначени за компютърни симулации на рентгенови изображения. Моделът се характеризира с простота на неговото конструиране и генериране, както и с реалистичен визуален изглед на симулираните рентгенови изображения.

- [Б7]. **Bliznakova K**, Kolev N, Bliznakov Z., Buliev I., Tonev A., Encheva E., Ivanov K., 2014, ***Image processing tool promoting decision-making in liver surgery of patients with chronic kidney disease***, Journal of Software Engineering and Application (JSEA), (impact factor: **0.97**), vol.7(2), pp. 118-127, DOI:10.4236/jsea.2014.72013, cited in Google Scholar: 1 times

Софтуерно приложение за обработка на изображения и подпомагане вземането на решения при операция на черен дроб за пациенти с хронична бъбречна недостатъчност

Резекцията на черния дроб е свързана с хирургично отстраняване на част от него, поради раково образуване. Доказано, е че усложненията след операция на черния дроб зависят също така пряко от остатъчния обем на черния дроб и колкото по-малък е той, толкова по-големи са нежеланите последици. Затова, пред-оперативната оценка на обема на черния дроб и функцията на остатъчния черен дроб е задължително условие преди извършване на основна хепатектомия.

Целта на тази научна разработка е да се разработи и тества софтуерно приложение за оценка на остатъчната функция на черния дроб преди намесата на хирурзите. За тази цел е разработена и тествана пълна софтуерна платформа, състояща се от три основни модула: (1) сегментиране обема на черния дроб, (2) визуализация и (3) виртуална резекция. Сегментирането на обема на черния дроб се основава на изображения от компютърна томография на пациенти в областта на корема без използването на контрастно вещество. Виртуалната резекция на тумора се извършва интерактивно чрез очертаване областта в черния дроб, която трябва да се отстрани. Софтуерното приложение обработва резултатите от всички изображения (томограми) от компютърния томограф за получаване на тримерно изображение на обема, който ще бъде опериран. Модулът за визуализация осигурява функционалност и дава възможност за лесно и бързо тълкуване на резултатите от сегментирането на разглеждания обем. Визуалните резултати се представят с количествени стойности, които допълнително осигуряват оценка на остатъчната чернодробна функция и въз основа на тях, хирурзите могат да вземат по-добро решение. Разработената система е тествана и проверена с двадесет различни компютърно-томографски изображения на пациенти, състоящи се от различни видове малформации и брой на томограмите.

Извършена е верификация на алгоритъма за правилно сегментиране на черен дроб чрез изчисляване и сравняване на обемите, получени от автоматичната сегментация на черния дроб с обемите, които са били селектирани и изчислени от двама хирурзи, високо квалифицирани специалисти от Университетската болница във Варна. Обемът, селектиран от тях е приет за еталон при сравнението. Сравнението между всички двадесет набора от изображения (след ръчно селектиране от хирурзите и автоматично селектиране от софтуерното приложение) показва средна относителна разлика от 4.5%.

В заключение, предложеният алгоритъм и софтуерно приложение за оценка на обема на черния дроб и оценка на остатъчната му функция са предназначени да улеснят работата на хирурзите преди операция на пациенти с увреждания на черния дроб. Подходът включва определяне на обема на базата на сегментиране на черния дроб от компютърно томографски изображения получени без използването на контрастно вещество, виртуална резекция на тумора и оценка на остатъчната чернодробна функция и обем. Софтуерното приложение се базира на надежден алгоритъм за сегментация на черния дроб. То позволява на хирурзите обективно, бързо и лесно да оценят обема на черния дроб и на остатъчната функционалност преди операция и да вземат адекватно решение.

- [Б8]. **Bliznakova K**, Dermitzakis A, Kamarianakis Z, Bliznakov Z, Buliev I, Pallikarakis N, 2015, ***Modeling of small carbon fiber-reinforced polymers for x-ray imaging simulation***, Journal of Composite Materials, (impact factor: **1.173**), 49(20), pp. 2541-2553, ISSN: 00219983, DOI: 10.1177/0021998314550219

Моделиране на малки по размери, подсилени с въглеродни влакна полимери за симулация на рентгенови изображения

Подсилени с въглеродни влакна полимери (ПВВП) са едни от най-перспективните композитни материали, които могат да интегрират съществуващите изисквания на аеронавтиката, автомобилостроенето и строителството. Например, нарастващото използване на композитни материали в авиационна индустрия през последното десетилетие се дължи основно на изискване за намаляване на теглото и изграждане на по-икономични (от гледна точка на гориво) самолети. Композитните материали предлагат намалено тегло в комбинация с отлични механични свойства като висока твърдост и якост при повишена температура, като същевременно са по-трайни и по-устойчиви на корозия от конвенционалните метални компоненти. Като такива, те са идеални материали за структурно вграждане в самолети и по-специално в рамките на първичните структури и управляващи повърхности като елерони и ротори, обшивки на крила, капаци на двигателите, на фюзелажа и др.

Въпреки това, все още има няколко предизвикателства, които пречат на по-широкото използване на композитните материали в този тип приложения като например висока цена на композитните материали, усложнени процедури за производство и ремонт. В допълнение, техническите проверки и изпитания на структури от ПВВП е много по-голямо предизвикателство при традиционните техники, използващи неразрушително тестване и контрол до момента като например проверка с ултразвук. Това се дължи основно на сложните форми на тези части и затрудненото разпространение на ултразвуковата вълна поради процеси на отражение, пренасяне и дисперсия, които могат да възникнат по границите между влакната и основния материал на запълване.

Тази научна разработка представя методология за генериране на реалистични тримерни софтуерни модели на подсилени с въглеродни влакна полимерни структури, предназначени за използване в симулационни проучвания на съвременни методи за неразрушително тестване чрез рентгенова техника. Разработени, представени и оценени са два модела на ПВВП. Единият модел е изграден от множество от подредени слоеве, които съдържат непрекъснати въглеродни нишки, а вторият като сплетен текстил от вплетени въглеродни нишки. Следните ПВВП дефекти са моделирани: поръзност, липса на въглеродни нишки, и не-въглеродни включения. Рентгенови проекционни изображения са генерирани с помощта на разработен симулатор за рентгенови изображения. Получените предварителни качествени и количествени резултати потвърждават като цяло добрата корелация на характеристиките между симулирани и експериментални рентгенографски данни и оправдават използването на този модел за изследвания на ПВВП с рентгенова образна диагностика.

Прилагането на модела на ПВВП е демонстрирано в симулационно изследване, имащо за цел да оцени количествено целесъобразността на две рентгенови техники за образна диагностика: конусна компютърна томография и цифрова томосинтеза, като техники за инспекция посредством неразрушителен контрол на ПВВП структури. Симулацията показва, че във всички случаи използването на конусна компютърна томография превъзхожда, както конвенционалната рентгенография така и цифровата томосинтеза, от гледна точка на характеризиране на дефектите и тяхната по-добра визуализация.

- [Б9]. Bosmans H, **Bliznakova K**, Padovani R, Christofides S, Van Peteghem N, Tsapaki V, Caruana J, and J. Vassileva, 2015, ***EUTEMPE-RX, an EC supported FP7 project for the training and education of Medical Physics experts in radiology***, Radiation Protection Dosimetry, (impact factor: **0.913**), 165(1-4), pp. 518-522, ISSN: 01448420, DOI: 10.1093/rpd/ncv306, cited in Scopus: 1 times, cited in Google Scholar: 2 times

EUTEMPE-RX – Европейски проект по програма FP7 за подготовка и обучение на експерти по медицинска физика в радиологията

Основната дейност на експерта по медицинска физика е да осигури оптимално използване на йонизиращото лъчение в областта на здравеопазването. От съществено значение е тези специалисти, работещи в сферата на здравеопазването да бъдат обучени на най-високо ниво, както е залегнало в Европейската квалификационна рамка за обучение през целия живот (European Qualifications Framework for Lifelong Learning) ниво 8 от доклад 174 на Европейската комисия по радиационна защита „Упътване в обучението на експерти по медицинска физика“.

Тази статия представя описание на проекта EUTEMPE-RX и неговите цели. Основната цел е свързана с организирането на модел на обучение, който позволява медицински физици и биомедицински инженери, работещи в областта на диагностичната и интервенционална радиология да достигнат високо ниво на теоретично и практическо обучение, за да могат да се справят с предизвикателствата на професията си.

Европейска мрежа от дванадесет партньори участват в този проект по 7-ма Рамкова Програма. Партньорите са подбрани по експертиза, целяща да се покрият всички актуални въпроси в областта на диагностиката и така да се създаде хармонизирана учебна програма. В статията се дискутира необходимостта за създаване на такава програма. Повечето европейски страни имат образователна програма за студенти по медицинска физика ниво 7, което съответства на магистратура по медицинска физика, последвано от практическо обучение в болница. Експерти, които да обучават специалисти за ниво 8, обаче липсват. Техният брой в цяла Европа е ограничен, което води до нереализуемост на програмите в отделните държави в Европа. Финансовите съображения са също пречка за развитието на такава програма на местна основа.

Отделните дванадесет модула са засегнати и описани в детайли. Акцентът е върху изискванията към участниците в отделните модули. Статията засяга и въпроса за оценяване качеството на подготвените отделни модули. Съдържанието на частите за „онлайн“ и „лице-в-лице“ обучение, ще бъде оценявано от определен екип, ръководен от лидера на проекта. Очаква се от участниците в курса да инвестират около 40 часа в „онлайн“ частта на всеки модул и още 40 часа по време на частта „лице-в-лице“, проведена в научните организации на лидерите на модулите. Участниците също ще оценят нивото на модулите, в които участват. Ще бъде разработен въпросник, който те ще попълнят след края на модула. Екип от Университета на Льовен ще подготви бизнес план за по-нататъшното развитие на курса и след приключване на проекта. Очаква се този курс да бъде акредитиран от Европейската Федерация по Медицинска Физика.

Проектът EUTEMPE-RX ще доведе до успешното създаване на курсове по медицинска физика ниво 8, което отговаря на ниво експерт по медицинска физика. Програмата на курса ще се състои от 12 модула, които могат да се посещават индивидуално или в комбинация. Очаква се модулите да бъдат посещавани от участници от много Европейски страни. Усилията са насочени също така тази програма да продължи да действа постоянно и да обучава специалисти в областта на диагностиката и интервенционалната радиология и след приключването на проекта.

[Б10]. **Bliznakova K**, Kolev N, Buliev I, Tonev A, Encheva E, Bliznakov Z, and Ivanov K, 2015, **Computer aided preoperative evaluation of the residual liver volume using computed tomography images**, Journal of Digital Imaging, (impact factor: **1.190**), 28(2), pp. 231-239, ISSN: 08971889, DOI: 10.1007/s10278-014-9737-5

Компютърно-базирана пред-оперативна оценка на остатъчния обем на черния дроб с помощта на изображения от компютърна томография

Резекцията на черния дроб е свързана с хирургично отстраняване на част от черния дроб, поради чернодробен или метастазен колоректален тумор. Значителната хепатектомия предизвиква риск от постоперативна чернодробна недостатъчност и инфекции. Доказано е, че честотата на тежка чернодробна недостатъчност и инфекции след резекция на черния дроб се увеличава значително с намаляване обема на остатъчния черен дроб след операция. Сред пациентите с нормален черен дроб, процентът на безопасна резекция варира от 20 до 30% от общият обем на черния дроб.

Въпреки напредъка в хирургическия и постоперативен мениджмънт, параметрите, определящи каква част от черния дроб може да се отстрани са все още до голяма степен неопределени. Пред-оперативната оценка на обема на черния дроб и функцията на остатъчния обем от черния дроб е задължително условие преди основна хепатектомия. Този процес е свързан с прилагането на различни методи за определяне и оценка на обема на черния дроб, както и обема на остатъчния черния дроб. Един начин е да се извърши ръчно определяне на границите на черния дроб. Този начин отнема значително време и поради това се разработват методи, които се базират на различни алгоритми и се прилагат за автоматично или полу-автоматично определяне на обема на черния дроб от изображения на компютърна томография (КТ). Един такъв алгоритъм е разработен от авторите и докладван в Б7. Този алгоритъм обаче е приложим само за КТ изображения, получени без контрастно вещество.

Целта на тази научна разработка е да се разработи и тества софтуерен продукт, който да прилага универсален алгоритъм за автоматично или полу-автоматично определяне на обема на черния дроб от КТ изображения, получени със или без контрастно вещество. Разработена е нова методология за оценка на обема на черния дроб от КТ изображения, получени с или без контрастно вещество. В последствие тази методология е интегрирана в софтуерен продукт, състоящ се от три модула за (а) точна чернодробна сегментация на базата на КТ изображения от коремната област на пациенти, (б) сегментиране на тумора и оценка на остатъчния обем на черния дроб и оценка на функцията на черния дроб и (в) модул за тримерно представяне на черния дроб. Прецизното сегментиране на черния дроб се получава с прилагане на така наречения „Seeded regional growing algorithm“. Няколко критерия за хомогенност, базирани на интензитета на вокселни стойности, дефинирани подобно на тези за случаите на сегментиране на каротидната артерия и бифуркационната област, се използват за по-доброто сегментиране на черния дроб и предотвратяване на прекомерно навлизане в съседните органи със сходни плътности като жлъчния мехур, жлъчката, стомаха и т.н. Поради големия размер на изображенията, които се използват за сегментирането, условие поставено от хирурзите е автоматично сегментиране и изчисляване на обема на черния дроб. Сегментираните региони от изображенията се подреждат в обем за по-нататъшно представяне в тримерното пространство. В това изследване са използвани 41 КТ на пациенти със или без контраст. Подобно на [Б7] е извършена валидиране на универсалния алгоритъм да реализира правилно сегментиране на черен дроб. Времето за прилагане на алгоритъма е около 3 минути, докато ръчното определяне на обема отнема около час. Описано е приложението на алгоритъма за резекцията на различни по вид тумори в 3 конкретни случая. Освен като инструмент, използван от чернодробните хирурзи, софтуерният пакет може да се използва и за обучителни цели.

[Б11]. Zagorska A, Bliznakova K, Buchakliev Z, 2015, *Towards the estimation of the scattered energy spectra reaching the head of the medical staff during interventional radiology: A Monte Carlo simulation study*, Journal of Physics: Conference series (JPCS), (impact factor: **0.303**), 637 (2015), pp. 1-4, ISSN: 17426588; DOI: 10.1088/1742-6596/637/1/012036

**Оценка на спектрите на разсеяната енергия достигаща нивото на главата на медицинския персонал по време на интервенционална радиология:
Изследване с помощта на Монте Карло симулации**

През 2012 г. Международната комисия за радиационна защита препоръча намаляване на границите на дозите за очната леща за медицинския персонал, който осъществява интервенционалната диагностика. Последните проучвания показват, че е възможно в интервенционалните стаи да се постигнат тези намалени граници, дори и без да се използва специални предпазни средства, като например очила.

Целта на изследването, описано в тази статия е да се изчисли разпределението на разсеяното рентгеново лъчение на нивото на главата на оператора, който извършва интервенционалната процедура. За тази цел, е използван софтуерът *XRayImagingSimulator*, който има модул за симулация на рентгеново лъчение през моделиран обект, базирано на Монте Карло техники. Този софтуер е използван за проектиране на компютърните антропоморфни фантоми (пациент и оператор), както и на геометрията на интервенционалната система. Софтуерът се използва да симулира транспорта на радиационните частици от рентгеновата тръба през пациента до детектора на системата. За да се регистрира разсеяното лъчение пред очите на оператора, е въведен втори детектор на разсеяното лъчение, който записва координатите, посоката и енергията на всяка рентгенова частица, която достига до детектора. За реализирането на това изследване е разработен допълнителен програмен код.

Масата, където ляга пациента е моделирана като правоъгълна алуминиева плоча с размери на правоъгълника, равна на 100 см и 60 см, с дебелина 1 мм. Операторът се моделира с помощта на 3D геометрични примитиви. Неговата височина е в съответствие с височината на стандартен човешки ръст, 176см. За тяло са използвани елиптични цилиндри, а за глава на оператора е използван правилен цилиндър. Геометрията, използвана за симулиране на интервенционалната процедура включва разстояние от рентгеновата тръба до детектора 100 см, а от пациента до детектора 20см. Началният спектър е от рентгенова тръба с напрежение 70kV и допълнителни 8 филтрации от Al и Cu. Симулирани са 8 начални спектри. Изчислени са разпределенията на разсеяните лъчения, получени от 3.0 мм Al, 4.5 мм Al и различни по дебелина (0.1-0.9) медни (Cu) филтри и са сравнени с първоначалните спектри, облъчващи пациента. За валидиране на резултатите от симулациите е проведено експериментално изследване.

Резултатите показват, че разлика между ефективните енергии на разсеяното лъчение, регистрирано в предната част на главата на оператора, получени от симулациите на всички 8 начални спектри е минимално. Друг съществен резултат е, че средната енергия на първичните спектри варира между 45keV и 55keV в зависимост от допълнителната медна филтрация, докато средната енергия на разсеяното лъчение пред очите на оператора е между 36keV и 39keV. Експерименталните резултатите потвърждават симулационните такива.

По настоящем, се извършват компютърни симулации с други рентгенови тръби както и с различна позиция на тръба спрямо пациента. Разпределенията на разсеяното лъчение, записани в предната част на главата на оператора, ще бъдат използвани за изследване на разпределението на абсорбираната доза в очната леща на оператора.

[Б12]. **К. Bliznakova**, 2016, **ED/SSC Varna (Bulgaria)**, IEEE Electron Devices Society newsletter, January 2016, Vol. 23, No. 1, pp. 40, ISSN: 1074 1879

Активност на секцията на IEEE Електронни Устройства / Полупроводникови компоненти (ED/SSC Chapter), Варна, България

През Септември 2015 г. се проведе Интернационалната Научна Конференция по Електроника (ET2015) в Созопол, България. Събитието събира професионалисти в областта на електрониката, от опитни изследователи, професионалисти в индустрията и академичната общност, от студенти до изследователи в начален етап. Заедно с това събитие, д-р Симон Делеонибус (Simon Deleonibus), изтъкнат лектор на секцията IEEE Electron Devices Section и Директор на изследователския институт „CEA Research“ в Гренобъл, Франция, беше поканен съвместно от българските секции към IEEE: ED/MTT/AP/CPMT и ED/SSC Варна да направи презентация пред членове на секциите и други гости. Неговата презентация на тема *"More Moore and more than Moore working on 3D"* беше осъществена непосредствено преди официалната церемония по откриването на конференцията на 15 Септември 2015.

Събитието имаше изключителна посещаемост и бе последвано от отворена дискусия за приложенията на представените технологии в изчислителната техника с висока производителност и мощност, в технологиите за обмен на информация, и в технологиите в областта на медицината. В ролята си на председател на под-комисията по Региони и Секции към IEEE Electron Devices Section и председател на региона на Източна Европа, д-р Симон Делеонибус очерта ползите от членството в IEEE и насърчи секциите в България да продължат работата си в организирането на събития в интерес на своите членове.

Председателите на българските секции на IEEE изразиха благодарност към д-р Симон Делеонибус за неговото изключително представяне както и за неговото време за полезните дискусии, които допринесоха за ползотворен обмен на опит, знания и идеи.

[Б13]. Bliznakova K, 2016, *The use of 3D printing in manufacturing anthropomorphic phantoms for biomedical applications*, Scripta Scientifica Medicinae Dentalis, vol. 2, No 1, pp. 40-48, ISSN: 2367-7244

Използването на 3D принтиране за производството на антропоморфни фантоми за биомедицински приложения

Новите модалности за образна диагностика имат спешна нужда от разработването и използването на физически антропоморфни фантоми. Такива фантоми биха се използвали за проектиране, тестване и оценка на изпълнението на нови предстоящи технологии и медицинска апаратура за образна диагностика, преди въвеждането на медицинските изделия в клиничната практика, както и за тестване на хипотези (например: дали двойно-енергийната мамография е по-ефективна от традиционната мамография), осъществяване на качествен контрол, обучение и др. До неотдавна, произвеждането на такива фантоми е било свързано с редица трудности по отношение на: (а) ограничения в сегашната технология, (б) наличието на подходящи материали, които да възпроизвеждат физичните и абсорбционни характеристики на човешката тъкан, (в) произвеждането на фантоми с висока резолюция, (г) ограничения, свързани с големината на файла (например > 100 MB).

Тази статия представя прилагането на 3D принтирането в областта на биомедицинско инженерство. По-конкретно, фокусът е поставен върху развитието на антропоморфни физически фантоми с характеристики, подходящи за използване в рентгеновата образна диагностика. В началото е дадена кратка информация за най-популярните технологии за 3D принтиране: Лазерно синтероване (SLS), Стереолитографски принтери (SLA) и Моделиране чрез отлагане на материал (FDM). Описана е експертизата на екипа по биомедицинско инженерство към Технически Университет – Варна. Екипът разполага с два 3D принтера: един, основан на FDM технология (LeapFrog Creatr 3D printer - dual head ABS printer) и друг основан на SLA технология (FORM 1+, FormLabs, Somerville, MA). Тези принтери се използват ежедневно за произвеждането на различни физически фантоми, предназначени за научни цели и обучение в областта на рентгенологията. Дадени са характеристиките им, както и причините за някои неуспешни 3D печатания на физически фантоми.

В статията са описани конкретни приложения на 3D принтирането, използвано за подпомагане на образованието на инженери, лекари и физици. Описан е в детайли подходът за получаване на принтирания обект: от компютърния модел до принтираната му версия: (а) генериране на цифров модел на обекта, (б) получаване на CAD модел, (в) прилагане на допълнителни техники за обработка на изображението, с цел изглаждане повърхността на обекта за отстраняването на пикселизацията, (г) записване на STL файл, (д) отпечатване на самия обект, (е) прилагане на допълнителна обработка на отпечатания физически модел. За демонстрация са използвани фантоми, отпечатани в ТУ-Варна, които са използвани за тестване на нова техника за откриване рак на млечната жлеза, както и фантоми, използвани в денталната медицина.

В статия се дискутира и използването на 3D принтерите в обучението на медицински физици и биомедицински инженери, което обучение се провежда в ТУ-Варна, в рамките на специализиран курс на обучение по Европейски проект.

II. Публикации в рецензирани международни научни конференции, общо 11 броя

[Б14]. Konstantinidis A, Zheng Y, Olivo A, **Bliznakova K**, Anaxagoras T, Yip M, Allinson N, Wells K, Speller R, 2012, ***Evaluation of a novel wafer-scale CMOS APS X-ray detector for use in mammography***, IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference, 29 October - 3 November 2012, Anaheim, California, USA, pp. 3254-3260, ISSN: 1082-3654, Print ISBN: 978-1-4673-2028-3, DOI: 10.1109/NSSMIC.2012.6551742, cited in Scopus: 1 times, cited in Google Scholar: 3 times

Оценка на нов рентгенов детектор Wafer-Scale CMOS APS за приложение в мамографията

Най-важните фактори, които влияят върху качеството на изображението са контраст, пространствена разделителна способност и шум. Тези фактори, както и връзката им са количествено дадени с отношенията контраст-шум (CNR), сигнал-шум (SNR), и параметрите: предавателна функция (MTF), честотна характеристика на шума (NPS) и квантова ефективност на детектиране (DQE). Комбинацията на SNR, MTF и NPS определя квантовата ефективност на детектиране (DQE), което представлява способността да визуализира детайлите на обектите с определен размер и контраст при дадена доза.

Тази статия адресира резултатите от изследването на нов CMOS Active Pixel рентгенов детектор с голяма площ, наречен DynAMITe (Dynamic range Adjustable for Medical Imaging Technology). Резултатите са сравнени с други три цифрови рентгенови детектора от мамографските системи, а именно: Large Area Sensor (LAS), б) Hamamatsu C9732DK, и в) Anrad SMAM), по отношение на физичните характеристики и на качеството на полученото с тях изображение.

Детекторът DynAMITe се състои от две геометрично насложени мрежи: едната е с размер 2560 пиксела x 2624 пиксела, като всеки пиксел е с размер 50 μ m x 50 μ m, наречени суб-пиксели (SP камера), а другата е с размер 1280 пиксела x 1312 пиксела, като всеки пиксел е с размер 100 μ m x 100 μ m. Оценяването на рентгеновия детектор DynAMITe SP демонстрира високи резултатни стойности за DQE (0.58 до 0.64 при 0.5 lp / mm).

Авторите реализират симулационно изследване, за да оценят възможностите на този нов детектор. За тази цел са използвани софтуерни модели на млечна жлеза, от които са получени симулационни проекционни изображения с модела на дадения детектор и с детекторите, които се използват в мамографията. Два от софтуерните модели са антропоморфни, с различна дебелина и група от микрокалцификати, симулирани вътре в моделите. Третият фантом е CDMAM версия 3.4, използван за подробен анализ на обекти с малък размер и нисък контраст за целите на мамографията.

Резултатите показват, че използването на DynAMITe SP детектор като мамографски детектор води до високо CNR и висок контраст на визуализираните детайли.

[Б15]. **Близнакова К**, Булиев И, 2013, **Български медицински инженери и физици – основни участници в организирането на специализиран курс по образна и интервенционална диагностика в рамките на Европейски проект EUTEMPE-RX**, FOCHOS, XXXI-ви Колоквиум “Физиката в опазване на човека и околната среда”, 21-23 Юни 2013, Гюлечича, България

Български медицински инженери и физици – основни участници в организирането на специализиран курс по образна и интервенционална диагностика в рамките на Европейски проект EUTEMPE-RX

Рентгеновите медицински прегледи заемат основен дял от радиационното натоварване, на което е подложен човек. През последните години, постепенно, но твърдо се увеличава броя на облъчванията при медицински прегледи с рентгеново облъчване. Този факт, придружен с технологично по-новите и съвременни медицинските изделия, които се появяват на пазара повишава ефективността на лечението и качеството на живот на пациентите. Въпреки това, е необходима строга обосновка и оценка на дозата, при използването на медицинска радиация. Още повече, че за новите медицинските изделия, използващи рентгенова радиация е необходим нов подход за оценка на дозата при пациенти и при персонала, както и подходящо обучение.

Всеизвестно е, че в момента една малка част от държавите членки на Европейския съюз разполагат с експертиза, апаратура и средства да осигурят необходимото ниво на обучение на експерти по медицинска физика. Скорошно проучване сред националните организации по медицинска физика и медицинската индустрия доказва необходимостта от високо качествени експерти по медицинска физика и биомедицинско инженерство, което може да се осъществи чрез специфична програма за обучение на медицински физици и биомедицински инженери.

Целта на този доклад е да запознае аудиторията и биомедицинската общественост с новия Европейски проект от 7-ма Рамкова Програма, EUTEMPE-RX, който стартира на 1 Август 2013 и който има за цел мобилизирането на ресурси за справяне с този важен проблем. Статията представя консорциумът, който се състои от 13 партньори от държави членки на Европейския Съюз, между които и България, и като партньори ще работят върху развитието и актуализирането на ролята на експертите по медицинска физика и биомедицинско инженерство в Европа. Предвижда се създаване, реализиране и оценка на нов пилотен курс на обучение на „експерт по медицинска физика“ по Образна и Интервенционална Диагностика, който включва „лице-в-лице“ и „онлайн“ обучение. Публикацията съдържа кратка информация за 12 модула, които ще съставят целия курс и ще бъдат развити в областта на Образната и Интервенционална Диагностика. Това са: (1) Развитие на професията и предизвикателства пред Експертите по Медицинска Физика (2) Радиационна биология за Експерти по Медицинска Физика (3) Monte Carlo симулации на рентгенови изображения (4) Фундаментална физика на рентгенови лъчи (5) Антропоморфни фантоми (6) Контрол на качеството на рентгеновите медицински устройства (7) Нови методи за измерване на качеството на рентгеновите медицински устройства (8) Образна Томография и обективна оптимизация на дозата (9) Повишаване качеството на методите на диагностика на рака на гърдата (10) Високо-дозови процедури при инвазивна радиология и кардиология (11) Дозиметрия при всички възрасти: от плода при бременните до възрастния (12) Дозиметрия на персонала. Първият модул започва през януари, 2015. Петият модул „Антропоморфни фантоми“ ще се реализира в Технически Университет - Варна. Екипът трябва да подготви модул, който да отговори на въпроса Каква е ролята на виртуалните фантоми в клиничните експерименти? Очаква се кандидатите, които ще участват в курса, да придобият знания по всички актуални въпроси в областта на образната и интервенционална диагностика и така от експерти по медицинска физика ниво 7 да достигнат експерти по медицинска физика на ниво 8.

- [Б16]. Dermitzakis A, Gatzounis G, Bliznakova K, 2013, ***Brain gray - white matter discrimination in dual energy CT Imaging: A Simulation feasibility study***, XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2013 (MEDICON 2013), 25-28 September 2013, Sevilla, Spain, Volume 41 of the series IFMBE Proceedings, pp. 495-498, ISSN: 16800737, ISBN: 978-331900845-5, DOI: 10.1007/978-3-319-00846-2_123, cited in Google Scholar: 1 times

Разграничаване на сиво и бяло мозъчно вещество при двойно-енергийна Компютърна томография: Симулационно проучване

Компютърна томография (КТ) на мозъка се извършва на пациенти с цел да се оценят структурите на мозъка и да се установи дали има присъствие на патология, като костни нарушения, тумор, хеморагия и събиране на течност, травма и т.н. Компютърната томография на мозъка има ограничения във възможността да изобразява разликата между сивото и бялото мозъчно вещество. Визуализирането на тези тъкани е много важно за патологии като болест на Алцхаймер, деменции, разстройства, причинени от стареенето, глиоми и т.н. За тези болести, магнитният резонанс се оказва по-чувствителен при откриването на лезиите в бялото мозъчно вещество в сравнение с КТ.

Целта на това изследване е да проучи възможността за използване на нова технология, базирана на две рентгенови лъчения за формиране на рентгенови томографски изображения, с цел по-доброто разграничаване на сивото и бялото мозъчно вещество. За тази цел е използвано софтуерното приложение *XRayImagingSimulator* за симулиране на КТ. Другият основен компонент е софтуерният модел на мозък: Digital Brain Phantom II - вокселен модел на мозък, не съдържащ туморни образувания и базиран на тримерни изображения от магнитен резонанс. За енергия на рентгеновото лъчение са избрани десет монохроматични лъчения с енергия от 20keV до 110keV и четири полихроматични спектъра, които се използват в клиничната практика при КТ. Симулациите включват генериране на 180 проекции на мозъчния модел чрез използване на *XRayImagingSimulator* и избраните спектри.

Първоначалното проучване включва определяне на оптималните две енергии: ниска и висока, за получаване на двойно-енергийно изображение. Това изображение се получава чрез тегловно изваждане на двете изображения, получени при ниска и висока енергия. В полученото двойно-енергийно изображение ясно се разграничават сивото и бялото мозъчно вещество. В статията се представя нелинеен алгоритъм за комбиниране на изображения, получени с различни енергии на рентгеновите лъчи. Описани са как са определени оптималните параметри на този алгоритъм. Прилагането на алгоритъма за оптимизация показва, че максимален контраст в двойно-енергийни томографски изображения на мозъка се постига за комбинация ниска/висока енергия на рентгеновия лъч както следва: 100keV/110keV в случай на монохромни лъчи, и 80kVp/100kVp за спектрално лъчение.

Изследването показва, че контрастът между сивото и бялото мозъчно вещество при изображения, получени с монохроматични лъчи е два пъти по-висок в сравнение с изображенията, получени с полихроматични спектри. Качеството на изображението се подобрява значително в двойно-енергийните изображения на мозъка, в които изображения се наблюдава ясно разграничение на бялото вещество от мозъчния паренхим. Параметърът, използван за оценка на качеството на изображението, показва че контрастът в двойно-енергийното изображение се подобрява с фактор от 12.6 в сравнение с двете ниско и високи енергийни изображения.

Оригиналност: Демонстрирана е чрез симулации за първи път възможност за реализиране на двойно енергийна КТ на мозък. Оптимизиран е алгоритъм за получаване на двойно-енергийните томографски изображения.

- [Б17]. Tigkos K, **Bliznakova K**, Dermitzakis A, Ducros N, Hassler U, Kamarianakis Z, Osman A, Rebuffel V, Tartare M, 2014, ***Simulation study for optimization of x-ray inspection setup applied to CFRP aerostructures***, Conference on Industrial Computed Tomography (ICT 2014), 25-28 February 2014, Wels, Austria, pp. 75-85, ISBN: 978-3-8440-2557-6, cited in Google Scholar: 2 times

**Симулационно проучване за оптимизиране
на експериментална постановка, използваща рентгенова техника
за инспектиране на композитни аеро-структури**

С увеличаване на използването на полимери, подсилени с въглеродни влакна (ППВВ), изискванията за неразрушителен контрол на тези структури съответно също се увеличава. Основната технология използвана за инспекция на тези структури в днешно време е ултразвукът. Ултразвуковата инспекция е ефективен и рентабилен метод за неразрушителен контрол, но в същото време ултразвуковото изследване има ограничения по отношение на необходимото време за инспекция при сто-процентова пълна проверка. Други недостатъци включват трудността за инспекция на детайли с неправилни форми или нехомогенни части както и проблеми по отношение на ограничената пространствената разделителна способност.

Рентгеновите техники за образна диагностика са обещаващ метод за неразрушителен контрол и инспекция на композитни материали. QUICOM е Европейски проект, имащ за цел да подсили конвенционалните техники за неразрушителен контрол с иновативни методи, базирани на рентгенова образна диагностика. Част от този проект засяга симулацията на процеса на инспекция с рентгенови лъчи, с цел оптимизиране на параметрите за получаване на изображенията, намирането на оптимални траектории и разработване на адекватни алгоритми за възстановяване на специфични компоненти от ППВВ.

Тази научна разработка представя симулационни изследвания за оптимизиране процеса на инспекция на ППВВ аеро-структури с рентгенова техника. Целта е разработка на опитната постановка и оптимални настройки за симулационен сценарий за 2D (планарна рентгенова диагностика) и 3D (компютърна томография) инспекция на ППВВ аеро-структури. Характеристиките, които се вземат под внимание, са форма на обектите и видове дефекти (тяхната форма и спектрални свойства). Симулациите се провеждат с помощта на софтуерна платформа за симулация. Процедурата за симулация и предварителните резултати от оптимизацията са илюстрирани за случая на термопластичен малък образец от ППВВ структури. Субективната визуална и количествена оценка показват много добра корелация на характеристиките между симулирани и реални рентгенови изображения. Анализът им подчертава важността на използването на методи с повече от една енергия, с цел придобиване на допълнителна информация за естеството и свойствата на материала и дефектите, които могат да се появят. За оптимизиране на протокола за двойна енергия, е необходимо да се настройат параметрите на рентгеновия източник. Допълнителни симулационни изследвания са проведени, които вземат под внимание и параметрите, произтичащи от ограниченията от индустриален аспект.

Аксиалната и спираловидната компютърна томография осигуряват най-добри резултати по отношение на детектиране и визуализация на дефектите. Въпреки това, томосинтезата се оказва ценна алтернатива в случаите, когато размерът и формата на тествания обект не позволява пълна ротация. Спектърът на рентгеновото лъчение и спектралните характеристики на детектора също така са важни параметри за оптимизиране на протокола на сканиране. Тези параметри не засягат само изображенията, но касаят и други нежелани артефакти, които могат да се появят и в следствие при реконструкциите. Друг важен аспект е оценката на резултатите. Използването на по-обективни критерии за анализ може да подобри откриването на дефекти и други артефакти в реконструирания обем.

- [Б18]. **Bliznakova K**, Buliev I, Verraest R, Bosmans H, 2014, ***Challenges in developing and implementing a blended learning approach in Medical Physics experts course: An example for the Anthropomorphic Phantoms module***, International conference on e-learning 2014, 11-12 September 2014, Tenerife, Spain, pp. 142-146, ISSN: 2367-6787 (online), ISSN: 2367-6698 (print), ISSN: 2367-6701 (cd-rom)

**Предизвикателства при разработване и прилагане на специализиран подход на обучение на експерти по Медицинска физика:
Модул по Антропоморфни Фантоми**

Тази статия представя разработката на специализирано обучение, използвано в един от модулите от Европейския курс на EUTEMPE-RX, предназначени за обучението на експерти по Медицинска физика. Този курс е в процес на разработване. Целите му са да предостави схема на обучение, която позволява на медицинските физици, специалисти в образната диагностика и интервенционална рентгенология, и на биомедицинските инженери да постигнат високо ниво на знания, умения и компетентност в дадената област. В статията е описан курса, който ще включва 12 модула, разработени на най-високо, експертно равнище, с преобладаващи теми в областта на радиационната безопасност и диагностиката.

Специализиран подход на обучение ще бъде използван във всички модули. Всеки един ще комбинира „лице-в-лице“ (една седмица) и „онлайн“ (5 седмици) части, които ще комбинират в различна степен теоретични, компютърно-базирани и практически занимания в зависимост от дисциплините. В публикацията са дискутирани основната част на всеки един от модулите: (1) ясно определена тема, с практическо предизвикателство да бъде решено и получени умения, познания и компетенции на участниците в резултат на обучението им; (2) сесиите по време на един модул трябва да включват и теоретични и практически обучения; (3) да бъдат отразени най-големите постижения в дадената област; (4) транслиране на познанията в клиничната дейност, (5) използване и работа с подходящи софтуерни приложения, (6) метод за оценяване на знанията на участниците, (7) събиране на разработените учебни материали.

Софтуерната платформа SEKOIA, която ще се използва за „онлайн“ частта е разгледана в детайли. Тя предоставя мощни инструменти и средства за създаване на атрактивен онлайн учебен материал.

Фокус на статията е също така организацията на модулта „Антропоморфни Фантоми“ в Технически Университет - Варна. Описани са в детайли темите за „онлайн“ и „лице-в-лице“ сесиите, както и как ще бъдат осъществени. Това са (а) Въведение в тематиката на антропоморфните фантоми, (б) Моделиране и композиция на антропоморфните фантоми, (в) Софтуерни средства, използвани в изследвания с рентгенова образна диагностика, (г) Софтуерно моделиране на компютърни антропоморфни фантоми, (д) Използване на антропоморфни фантоми за научни цели и в практиката, (е) Изработване на физически антропоморфни фантоми чрез използване на 3D принтери. Демонстриран е пример от онлайн курса: изучаване на основните компоненти на компютърен модел на млечната жлеза, използвайки интерактивни методи.

Авторите са убедени, че предложеният специализиран метод на обучение е добре обмислен и ще бъде от изключителна полза, както за участниците в модула, така и за по-нататъшното развитие на научните изследвания в областта на образната диагностика. Въпреки това, само времето може да потвърди това. Първият модул от пилотния курс вече е насрочен за месец февруари 2015 г., докато модулта по „Антропоморфни Фантоми“ ще бъде в началото на септември 2015.

- [Б19]. **Bliznakova K**, Buliev I, Bosmans H, Bliznakov Z, Vassileva J, Padovani R, Christofides S, Van Peteghem N, and Caruana C, 2014, ***How can Biomedical Engineers benefit from the new expert level course of the EUTEMPE-RX project***, 6th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering, EMBEC2014, 7-11 September 2014, Dubrovnik, Croatia, Volume 45 of the series IFMBE Proceedings, pp. 765-768, ISSN: 16800737, ISBN: 978-331911127-8, DOI: 10.1007/978-3-319-11128-5_190, cited in Google Scholar: 1 times

Как биомедицинските инженери могат да се възползват от курса на обучение на експертно равнище по проект EUTEMPE-RX

Биомедицинското инженерство е сфера, обединяваща инженерството с медицината. Тя съчетава уникални знания в областта на инженерните науки, биологията и медицината, за да подобри качеството на здравните услуги чрез интердисциплинарни дейности, които интегрират инженерните науки с биомедицинските науки и клиничната практика.

Напредъкът по приложна физика в медицината - разработването на сложна апаратура за запис и анализ на биомедицински сигнали, изображения, терапия и т.н., както и прилагането на тези технологии в болничните заведения, изискват наемането на висококвалифицирани биомедицински инженери, отговорни за правилното функциониране на медицинското оборудване и поддръжка, както и решаването на проблеми, които могат да възникнат по време на тяхното функциониране. От друга страна, биомедицинските инженери са тези, които създават научно-изследователски методи и инструменти за разработване на нови медицински устройства за диагностика и лечение на човешки заболявания. За тази цел, биомедицинските инженери трябва да актуализират постоянно своите знания, умения и компетентност. Предизвикателствата пред медицинските физици и биомедицински инженери са много сходни, а професията на медицинския физик е една голяма област за изява и на биомедицинските инженери.

Целта на настоящата разработка е да се демонстрира нагледно възможността на определени модули от курса EUTEMPE-RX да бъдат приложени за обучение и на биомедицински инженери, с цел повишаване на знанията, уменията и компетентността им. Един от 12 отделни модула в EUTEMPE-RX е модульът „Антропоморфни фантоми“. Този модул се разработва и се изнася от научен екип с познания в биомедицинското инженерство. Сферата на Моделиране и Симулации е важна тема за биомедицинските инженери и в зависимост от специфичните нужди на програмата за обучение, тя осигурява тясна специализация в определени области от интерес. Тази област е силно засегната в модула по „Антропоморфни фантоми“, чиято основна цел е да осигури необходимите знания и умения за проектиране, конструиране и оценка на антропоморфни фантоми и извършване на виртуални клинични изследвания с тях.

В заключение се разглеждат бенефитите за биомедицинските инженери и как те могат да се възползват от обучението в модула по „Антропоморфни фантоми“. Биомедицинските инженери са професионалисти, които развиват алгоритми за създаване на сложни антропоморфни фантоми със сложни геометрични форми, нови методи за симулиране на медицински изображения, оптимизиране на детектори, разработване и ползване на виртуални софтуерни инструменти за извършване на виртуални експерименти и т.н. Модульът по „Антропоморфни фантоми“ към курса по EUTEMPE-RX предоставя отлична възможност за тясна специализация в тази област на биомедицинското инженерство.

[Б20]. Близнакова К, 2015, *Съвременни методи за рентгенова диагностика на рак на гърдата*, Научен Форум за Технологии в Помощ на Здравето, 9-10 Октомври 2015, Варна, България, ISBN 978-954-20-0751-7

Съвременни методи за рентгенова диагностика на рак на гърдата

Ракът на гърдата е най-честата форма на ракови заболявания при жените под седемдесет годишна възраст. През 2012 година например, новите диагностицирани случаи са 1,4 милиона (23% от всички ракови заболявания), а от всички ракови заболявания, ракът на гърдата е на второ място (10,9% от всички ракови заболявания). Въпреки безспорните постижения на науката в последните години, които биват внедрявани в практиката, заболяемостта и смъртността сред жените се увеличава с всяка година. Прогнозата показва, че в САЩ една на осем жени ще се разболее от рак на гърдата, а в Европа – една на десет. В България, статистиката е подобна като тази на Европейския съюз. Превенцията и ранната диагноза са общо-признати като критични фактори, които значително увеличават шансовете за ранно откриване на този вид рак и неговото преодоляване.

Целта на тази гост-презентация е да запознае обществеността с някои факти свързани с това заболяване, статистика, съществуващи конвенционални и нови модерни технологии, технологии в развитие и идеи за нови технологии, както и информация за групата от инженери в ТУ-Варна, занимаваща се с разработване на софтуерни продукти, подпомагащи научните изследвания в тази област.

В началото е представена кратка статистика на заболяемостта и смъртността от рак на гърдата в Европа и САЩ. Специално внимание е обърнато на статистиката за България, представена за 2013. След статистиката се обръща внимание на анатомията на самата млечна жлеза, състав и същността на туморните образувания и как става тяхното развитие. В последствие се дава информация за мерките, които се вземат днес в тази област, като се акцентира на технологиите: цифрова мамография и в напредналите Европейски държави – томосинтеза. Акцентира се на техниката, на предимствата и недостатъците на всяка една от тези технологии. Дават се много примери, с които се демонстрират тези предимства и недостатъци.

В предпоследната част се обръща внимание на новите технологии, които в момента са в процес на одобряване от съответните органи. Такава например е компютърната томография на млечна жлеза, която е иновативна 3D техника, отличаваща се радикално от предните две технологии. Други две нови технологии: контрастна томосинтеза (контрастна томография) и фазово-контрастна томография и мамография също са представени. Тези техники са в процес на разработка.

В последната част се дава участието и приноса на екипа от Технически университет - Варна в тези разработки. Акцентира се върху разработените софтуерни платформи за моделиране на млечна жлеза, и на процеса на получаване на изображения в различен режим: мамография, томосинтеза и томография. Дадени са примери на моделирани нови рентгенови техники, които биха допринесли за по-ранното откриване на туморни образувания на млечната жлеза.

[Б21]. Т. Dilkovska-Petrova, A. Zagorska, **K. Bliznakova**, 2015, ***The role of cloud services in research projects (case study)***, International Conference on Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering (BdKCSE'2015), 5-6 November 2015, Sofia, Bulgaria, ISSN: 2367 - 6450

Ролята на „облачните услуги“ в изследователските проекти (практическо проучване)

Използването на „Облачни-ориентирани компютърни ресурси“ е модел за активиране на повсеместен, удобен, и по заявка мрежов достъп до общ клъстер изчислителни ресурси (например: мрежи, сървъри, пространство за съхранение, приложения и др. услуги), които могат да бъдат бързо осигурени и предоставени с минимални усилия. Обикновено, един модел на „облачен ресурс“ се състои от хардуер и софтуер, които съставляват и изграждат „облачната инфраструктура“. Хардуерът (или още наречен физичен слой) се състои от необходимите хардуерни ресурси, които изграждат „облака“ и обикновено включва сървър, твърди дискове за съхранение на данните и мрежови компоненти. Софтуерът (или още наречен абстрактен слой) се състои от софтуерното програмно осигуряване за прецизното функциониране на „облака“.

В днешно време съществуват различни начини за финансиране на изследователите, главно чрез субсидии за провеждане на научни изследвания. Проектно-предложенията изискват добро планиране в две посоки - финансова и научна. Планиранията се извършват много преди крайното одобрение на проекто-предложението. Това често излага на риск изследователските проекти от обстоятелства, които не са планирани или не зависят от самите изследователи като например оборудване, извънредно напускане на персонала, лошо качество на данните, загуба на данни, неочаквани резултати и т.н. Така, вместо да се концентрират върху задачите, които водят до постигане на целите на проекта и очакваните резултатите, учените трябва да се справят с блокиращи проблеми, които могат да доведат до провал на проекта. Въпреки, че в днешно време се правят планове за риск на изследователските проекти, в които се включват стратегии за управление на рисковете и превенцията, все още тези проблеми съществуват, особено в докторантските проекти. Докторантите имат относително кратък период от време, за да развият своите изследователски умения и това да доведе до развиването на съществена част от работата. Освен това естеството на изследователските проекти е такава, че проектът ще се развива значително с прогреса на изследването. Възможно е дори да се получат неочаквани резултати в някакъв етап, което да доведе до въвеждане на допълнителни изисквания и усилия, които не са включени в първоначалния план и могат да бъдат в конфликт с бюджета и срокове на проекта.

В тази статия се предлагат решения чрез използване на „облачните услуги“ на някои често срещани проблеми изброени по-горе, като липса на изчислителни ресурси, лошо качество на данните, загуба на данни, неочаквани резултати, и т.н. Дава се детайлна информация за „облаците“ и „облачните услуги“. Излагат се ползите, които „облачните услуги“ могат да предоставят на изследователите и на бизнеса, като архивиране, съхраняване и възстановяване на данни, достъп до данните независимо от местоположението на потребителя, намаляване на разходите на фирмите за компютърни ресурси, лесна обмяна на данни между потребители, т.н.

В края на статията се представя реален случай от практиката, в който „облачните услуги“ са използвани за изчисляване на дозата в очната леща, която медицинския персонал получава при интервенционална диагностика. Използването на „облачните ресурси“ допринасят за драстично намаляване на изчислителното време, необходимо за симулация, за експресно получаване на резултатите от експериментите, за оптимизация на началните параметри и експерименталните постановки. Настоящото проучване показва възможност за промяна на стандартите в посока намаляване на дозите в клиничната практика.

[Б22]. Bliznakova K, 2016, *Development of breast software phantom dedicated for research and educational purposes*, Fourth International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research (RAD 2016), 23-27 May 2016, Nis, Serbia

Разработка на софтуерен фантом на млечна жлеза предназначен за изследователски и образователни цели

Физическите фантоми са ценни инструменти в оценяването на нови техники за образна диагностика на млечната жлеза. От особена важност е те да възпроизвеждат изключително прецизно характеристиките на млечната жлеза и най-вече тези, които са свързани с характеристиките на рентгеновото лъчение и получаването на изображения.

Тази публикация представя нова софтуерна платформа, предназначена за оптимизация на параметрите на физически модел на млечна жлеза, разработен от научен екип в Университета в Льовен, Белгия. За тази цел е разработена нова методология за генериране на софтуерни версии на фантоми на физическия модел на компресирана млечна жлеза, който софтуерен модел възпроизвежда структуриран фон в генерираните двумерни и тримерни мамографски изображения. Фантомът (вкл. физическият) се състои от общо 33903 сфери: 29 сфери с диаметър 15.88мм, 56 сфери с диаметър 12.70мм, 135 сфери с диаметър 9.52мм, 455 сфери с диаметър 6.35мм, 3630 сфери с диаметър 3.18мм и 29598 с диаметър 1.58мм. Тези различни по големина сферични обекти, изработени от плексиглас, са поставени в полуцилиндричен контейнер. Контейнерът е с височина 58мм и диаметър 200мм и е изработен от плексиглас. Сумарните обеми, образувани от акрилните сфери от всеки вид са равни помежду си. Контейнерът е запълнен с вода или с въздух.

Демонстрирано е използването на платформата за оптимизиране на материала, който се използва за принтирането на отделните сферични обекти. Симулирани са двумерни проекции, като е взето под внимание детайлно моделиране и симулиране на процеса от мамографска апаратура на Сименс. В последствие са сравнени с реални изображения, получени от мамографската система.

Описано е използването на софтуерния инструмент в обучението на участниците в модул 5 "Използването на физически и виртуални антропоморфни фантоми за оценка качеството на изображението и оптимизиране на дозата на пациента" проведен в ТУ-Варна. Курсът е свързан с повишаване квалификацията на медицински физици в диагностиката и интервенционална рентгенология до ниво експерт и повишаване на квалификацията на инженерите, работещи в областта на R&D сектора на биомедицинската индустрия, както и на студентите, които правят докторантура в областта на биомедицинското инженерство. Участниците в курса са използвали платформата за реализиране на курсовите си проекти, свързани с конструиране и изследване на нови, несъществуващи техники за диагностика на млечна жлеза или за оптимизиране на настоящи модерни такива техники.

Този софтуерен модел на компресирана млечна жлеза се използва в момента за по-нататъшно подобряване на съществуващия физически модел на компресирана гърда: използването на други по-подходящи материали (като например полиетилен, сива смола, животинска мас) или други структури, различни от сферичните. Разработената компютърна платформа, позволява създаването на софтуерни версии на физическия фантом разработен в Университета в Льовен с параметри (размери, форми, материали), които лесно се модифицират от потребителя. Освен научните аспекти на компютърната платформа, този софтуерен инструмент се оказва изключително полезно приложение за тясно-специализирано обучение на експерти по медицинска физика и биомедицинско инженерство в дадената област.

[Б23]. A. Marinov, D. Ivanov, Z. Bliznakov, H. Bosman, I. Buliev and **K. Bliznakova**, 2016, ***Application of computational phantoms and their 3D print-outs for educational purposes***, 3rd International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering (ICNBME-2015), 23-26 September 2015, Chisinau, Republic of Moldova, Volume 55 of the series IFMBE Proceedings, pp 493-496, Print ISBN: 978-981-287-735-2, Online ISBN: 978-981-287-736-9, DOI: 10.1007/978-981-287-736-9_116

Приложение на компютърни модели и техните 3D физически копия за образователни цели

Тази публикация представя интересен подход за реализиране на част от образователния материал на един от модулите от Европейския курс EUTEMPE-RX за обучение на експерти по Медицинска физика. По-специфично, представен е подходът, използван в модула "Антропоморфни фантоми", чрез който се преподава атрактивно съдържанието на учебния материал от глава "Компютърните антропоморфни фантоми като прототипи на физически обекти". Също така се демонстрира приложимостта за възпроизвеждане на реални физически фантоми за използване в клиничната практика от техните компютърни модели. Този подход включва създаването на софтуерни антропоморфни фантоми и изпълнението на набор от операции за обработка на изображения, използвани за приготвяне на изходния файл на фантома в подходящ формат за печатане на 3D принтери.

Подходът се състои от следните стъпки:

- (а) Генериране на компютърния модел с помощта на софтуерния продукт, *BreastSimulator*. Софтуерното приложение за тази стъпка ще бъде на разположение за обучението на всеки участник. Демонстрации, организирани под формата на видео-анимации, съпътстват процеса на преподаване и ще се фокусират върху взаимодействието на студентите с интерфейса на софтуерния продукт, за да се генерират компютърни модели на млечна жлеза. Изходният файл от този софтуерен продукт, съдържа вокселизирана версия на компютърния модел.
- (б) Отваряне и прочитане файла на модела в програмната среда на MATLAB.
- (в) Извършване на подходяща пост-обработка на модела, като например подобряване на изображението чрез изглаждане на вокселния софтуерен модел и намаляване на възможните артефакти от вокселизацията в окончателната печатната версия.
- (г) Преобразуване на преработения модел до стереолитографски (STL) изходен файлов формат. Полученият STL файл може да се използва, както за отпечатване на физически модел така и за разработване на образователни материали.
- (д) Прочитане на STL файла от специализиран софтуер за 3D моделиране и изготвяне на компютърни анимации за визуализация на модел за целите на обучението на студентите.
- (е) Прочитане на STL файла от специализирани Computer Aided Design (CAD) или Computer Aided Manufacturing (CAM) софтуерни продукти, обработка на модела и добавяне на допълнителни поддържащи структури. Следващата стъпка е отпечатването на физически модел по време на обучението на студентите.

В тази статия е описано примерно реализиране на горния подход, чрез конструиране на софтуерен модел на млечна жлеза и в следствие нейното 3D принтиране. За целта, са били проектирани два малки по размер компютърни модела на млечна жлеза, различаващи се по сложността на моделираните млечни канали. Тези софтуерни модели са били обработени чрез използване на алгоритми, целящи подобряване на изображението с цел изглаждане на вокселизираната матрица, съдържаща обекта. След това, моделът е преобразуван в STL формат, който се използва както за отпечатване на физическия 3D модел, така и за разработване на образователни материали.

[Б24]. **Близнакова К**, 2016, **Реализация на образователния модул 5 „Антропоморфни фантоми“ от Европейския курс „EUTEMPE-RX“ по Медицинска Физика в областта на образната диагностика в ТУ-Варна**, FOCHOS, XXXIV-ти Колоквиум “Физиката в опазване на човека и околната среда”, 17-19 Юни 2016, Пловдив, България

Реализация на образователния модул 5 „Антропоморфни фантоми“ от Европейския курс „EUTEMPE-RX“ по медицинска физика в областта на образната диагностика в ТУ-Варна

Антропоморфните софтуерни и хардуерни (физически) фантоми играят важна роля в съвременното развитие на диагностичните рентгенови техники. Те позволяват неограничено и безопасно използване в експерименталната работа, която цели подобряване и оптимизиране на качеството на диагностичните изображения, на дозата в пациента, както и за тестване и предклинични изпитания на новите техники за образна диагностика, преди тяхното въвеждане в експлоатация. Ето защо, медицинските физици и биомедицинските инженери, работещи в тази област е необходимо да придобият знания по всички актуални въпроси в тази сфера.

Модул 5 "Антропоморфни фантоми" от Европейския курс по Медицинска Физика EUTEMPE-RX е един от 12-те модули, които могат да осигурят подходящо образование и обучение в сферата на моделирането, симулирането, реализацията и използването на антропоморфни фантоми в областта на Образната и Интервенционална Диагностика.

Целта на този доклад е да информира за практическото изпълнение на модул 5 "Антропоморфни Фантоми", който се осъществи в Технически Университет - Варна от 7-13 Септември, 2015. Основните цели бяха насочени към запознаване на участниците с ролята на физическите и виртуални антропоморфни фантоми и възможността за извършване на виртуални клинични изследвания, които бяха свързани с тестване на нови диагностични технологии като например компютърна томография на гърдата, или оптимизиране на съществуващи такива, като например намиране на оптималните двойки енергии, които се използват при двойно-енергийна мамография и водят до максимален контраст на малките микрокалцификати.

Седемнадесет участници от четиринадесет Европейски държави взеха участие в пилотния курс. Лекциите, които бяха ограничени до два часа на ден, се водеха от изследователи, признати в областта на медицинската физика от цял свят. Фокусът в пилотния модул бе върху практическите упражнения за разработване на виртуални антропоморфни фантоми и тяхното използване във виртуални клинични изследвания. Участниците получиха работен проект в началото на курса, в който проект трябваше да съчетаят знанията си по медицинска физика и наученото от курса. Всички участници бяха много мотивирани и изпълниха отлично практическите упражнения по време на образователния модул. И седемнадесетте участници преминаха успешно с високи резултати заключителния изпит, който се състоеше от 60% от получените точки за проект и 40% от получените точки на писмения тест. Избрани проекти по настоящем са в процес на доразработване и ще бъдат предадени за публикуване. Двама участници започнаха докторантура по теми, свързани с компютърно моделиране на тумори на гърдата и нови техники за образна диагностика.

Образователният модул към курса по EUTEMPE-RX предоставя възможност за повишаване на квалификацията на тесни специалисти по Медицинската физика.

- [B1]. Булиев И., Близнакова К., 2016, **Обработка на Медицински Изображения**, Ръководство за лабораторни упражнения, Технически Университет - Варна, 2016.

Обработка на Медицински Изображения

Ръководството за лабораторни упражнения по "Обработка на медицински изображения" е предназначено за студентите от магистърските програми за обучение в специалност "Медицинска електроника" и "Електроника" (модул Медицинска електроника). Това е първото по рода си ръководство, което излиза в ТУ-Варна. Темите за упражнения са разделени в две групи, съобразени със съответните учебни програми. Първата група разглежда основни методи за въвеждане и запис, визуализиране, обработка и анализ на цифрови изображения. Втората група е посветена на обработката и анализа на медицински изображения. Акцент е даден на работата с двумерни сигнали, каквито са медицинските изображения. Голяма част от упражненията са свързани със създаване на код на MATLAB. В две теми се използва софтуерния продукт *XRayImagingSimulator*, с който се реализират упражнения за рентгенови изображения, компютърна томография и томосинтеза.

Част I. Обработка на цифрови изображения.

Тема 1. Цифрови изображения в MATLAB: често използвани функции за въвеждане и запис на изображения, преобразуване на представянето на пикселите, подходящо визуализиране и аритметични операции с изображения.

Тема 2. Геометрични трансформации на изображения.: запознаване и корекция на геометрични изкривявания, подобни и перспективни трансформации, хомогенни координати и матрици на трансформацията, нелинейни трансформации.

Тема 3. Промяна на контраста на изображенията: хистограмна обработка, негативни изображения, подобряването на контраста чрез 'разтегляне', компресия на динамичния диапазон, хистограмно изравняване, таблици на съответствието.

Тема 4. Преобразуване на Фурие: засяга свойства на преобразованието на Фурие, филтриране на изображения, моделиране на АЧХ и др.

Тема 5. Подобряване на качеството на изображенията: шумове в изображенията, линейни и нелинейни филтри, симулиране на шум в изображенията.

Тема 6. Откриване на контури в изображенията: усилване, получаване на бинарни изображения на контурите, Canny детектор, LoG филтър, морфологични операции.

Тема 7. Сегментиране на области в изображенията: прагове на интензитета, сегментиране по контури, използване на видове алгоритми, маркиране на области.

Тема 8. Извличане на описатели и разпознаване на области в изображенията: концентриране на информацията, класификация и елементи от разпознаването.

Тема 9. Архивиране на изображения: въвеждане и особености на формат DICOM.

Тема 10. Преобразуване на Радон: изпълняване преобразованието на Радон в MATLAB.

Част II. Получаване и обработка на медицински изображения.

Тема 11. Компютърно моделиране и симулиране на флуороскопски изображения: антропоморфни фантоми, флуороскопски и ангиографски изображения, разликови изображения, симулация със специализиран софтуер *XRayImagingSimulator*.

Тема 12. Получаване и обработка на томографски изображения: засяга Компютърна томография (КТ), цифрова томосинтеза, симулация на проекции за КТ и томосинтеза с използване на *XRayImagingSimulator*.

Тема 13. Получаване, визуализиране и анализ на ултразвукови изображения: принцип на действие, затихване на сигнала при някои видове човешки тъкани, обработка на образи.

Тема 14. Получаване, визуализиране и анализ на изображения на базата на Ядрено-Магнитен Резонанс (ЯМР): получаване на магнитно-резонансно изображение, видове времеконстанти, обработка на ЯМР изображения.

- [B2]. **K. Bliznakova**, I. Buliev, Z. Bliznakov, 2015, **MPE05: Anthropomorphic Phantoms, Laboratory Exercises - Guide for Learners**, (Ръководство за лабораторни упражнения), Европейски проект EUTEMPE-RX, FP7 Fission-2013-5.1.1 (GA: 605298), 2015

Модул MPE05: Антропоморфни Фантоми

Ръководството за лабораторни упражнения по "Антропоморфни Фантоми" е предназначено за участниците в модул MPE05: Антропоморфни Фантоми от специализирания курс за подготовка и обучение на експерти по медицинска физика в радиологията, в рамките на Европейски проект по 7-ма Рамкова Програма (FP7), EUTEMPE-RX – European Training and Education for Medical Physics Experts in Radiology. Курсът на обучение се състои от две части: (1) самостоятелна онлайн част, равняваща се сумарно на 40 часа заетост на обучение, (2) преподаване „лице-в-лице“, със сумарна заетост също 40 часа, организирано в 5 пълни дни на интензивно обучение. Лабораторните упражнения, както и самото ръководство е организирано съгласно програмата на обучение, също в 5 учебни дни и засяга следните теми и упражнения:

Ден 1: Обучението включва 7 упражнения:

1. Създаване на опростен фантом от 3D геометрични примитиви.
2. Създаване на сложен фантом от 3D геометрични примитиви.
3. Създаване на опростен фантом на млечна жлеза.
4. Създаване на вокселизиран фантом от пациентски изображения на млечната жлеза - I вид.
5. Създаване на вокселизиран фантом от пациентски изображения на млечната жлеза - II вид.
6. Създаване на вокселизиран фантом от пациентски изображения на коремната област - I вид.
7. Създаване на вокселизиран фантом от пациентски изображения на коремната област - II вид.

Ден 2: Обучението включва 2 упражнения:

1. Моделиране на млечна жлеза.
2. Работа със софтуерния пакет *BreastSimulator*.

Ден 3: Обучението включва 1 упражнение:

1. Отпечатване на тримерни модели на млечна жлеза.

Ден 4: Обучението включва 2 упражнения:

1. Симулация на цифрова томосинтеза на млечна жлеза, с използване на антропоморфен фантом на млечна жлеза, състоящ се от геометрични примитиви.
2. Симулация на цифрова томосинтеза на млечна жлеза, с използване на антропоморфен вокселизиран фантом на млечна жлеза.

Ден 5: Обучението включва 6 упражнения:

1. Симулация на двойно-енергийна радиография.
2. Симулация на двойно-енергийна маммография с използване на опростен фантом на млечна жлеза от геометрични примитиви.
3. Симулация на двойно-енергийна маммография с използване на вокселизиран фантом на млечна жлеза.
4. Симулация на фазово-контрастна томография с използване на опростени фантоми - I вид.
5. Симулация на фазово-контрастна томография с използване на опростени фантоми - II вид.
6. Симулация на фазово-контрастна томография с използване на сложни фантоми.

- [B3]. Z. Bliznakov, K. Bliznakova, N. Pallikarakis, 2008, *Aspects of Clinical Engineering – Management of Biomedical Technology, Lecture notes (Лекционен курс)*, University of Patras, Greece, 2008.

Аспекти на Клиничното Инженерство Мениджмънт на Биомедицинските Технологии

Лекционният курс по “Аспекти на Клиничното Инженерство - Мениджмънт на Биомедицинските Технологии” е разработен и предназначен за студентите от Европейската магистърската програма по Биомедицинско инженерство, организирана от катедра “Медицинска физика” към Факултет по Медицина на Университета на Патра, Гърция. Целият курс се състои от шест раздела:

Въведение: Въвеждането на съвременните технологии в болничните заведения има значително влияние върху повишаване на качеството на здравните услуги, предоставяйки нови възможности за диагностика и лечение и едновременно допринасяйки за намаляване на времето на хоспитализация. От друга страна, широкото използване на технологиите в областта на медицината довежда до проблеми, свързани с надеждността и безопасността на медицинските изделия и нарастващите разходи за предоставяне на здравните услуги.

Отдели по клинична техника: Горните нужди довеждат до създаването и функционирането на „Отдели по клинична техника“, които разполагат с квалифицирани кадри, за да могат да поемат отговорността за безопасна, ефективна и рентабилна експлоатация на медицинските технологии в клиничната практика. Целта е да се извлече максимална полза от медицинското оборудване и да се осигури неговото безопасно и ефективно използване. Тези цели се постигат чрез разработването на специализирана софтуерна програма за мениджмънт на медицинско оборудване.

Софтуерни системи за мениджмънт на медицинско оборудване: Тези системи подпомагат цялостното управление на медицинско оборудване в областта на здравеопазването. Имат за цел да осигурят ефективни инструменти инвентаризиране и архивиране, мониторинг на техническото обслужване, контрол на качеството, безопасността и дейности свързани с бдителността. Също така поддържат обучение на болничния персонал, безопасна и ефикасна експлоатация на медицинското оборудване и осигуряване на качеството на услугите, предлагани от Отдела по Клинична техника, съгласно международно признатите стандарти за качество. Акцентът е поставен върху ефективното управление на медицинско оборудване със значителните очаквани ползи, свързани с разходите, безопасността и правилната експлоатация.

Процедури за контрол на качеството: Състоят се от изпълнението на протоколи за инспекция на качеството, съгласно препоръките на производителя. Сложността на процедурите, зависи от комплексността на самото медицинско устройство и може да варира в много големи граници, често изискваща високо-квалифициран персонал.

Качествени индикатори: Отделите по клинична техника използват качествени индикатори за оценка тяхната ефективност и подобряване на управлението на медицинско оборудване. Индикаторът е обективно, количествено измерване на резултат или процес, който се отнася до качеството на изпълнението. Разгледани са видове качествени индикатори, използвани в мениджмънта на медицинските технологии.

Система за безопасност при медицинското оборудване: Разглежда се целта на системата, която е да се подобри защитата на здравето и безопасността на пациентите, потребителите и други, чрез намаляване на вероятността от повтаряне на един и същ вид нежелани инциденти на различни места по различно време. Това може да бъде постигнато чрез оценка на докладваните инциденти, и разпространението на информация, за предотвратяване на такива повторения.

Дата: 06.06.2016

Изготвил: _____

/д-р инж. Кристина Близнакова/