

078-НС1-101
09.09.2026



СТАНОВИЩЕ
върху дисертационен труд
за придобиване на образователната и научна степен „доктор“
професионално направление 5.3 „Комуникационна и компютърна техника“
научна специалност „Теоретични основи на комуникационната техника“

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Диана Цветкова
Тема на дисертационния труд: „Алгоритми за мултимодално образно сливане на МРТ и PSMA-PET образни данни на простатата“
Член на научното жури: проф. дн инж. Марин Маринов, Технически университет – София

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научноприложно отношение. Степен и нива на актуалността на проблема и конкретните задачи, разработени в дисертацията

Представеният дисертационен труд е посветен на актуален и ясно интердисциплинарен научен проблем – разработването на алгоритми за надеждно мултимодално сливане на анатомична информация от магнитно-резонансна томография (МРТ) с функционална и молекулярна информация от PSMA-PET при образната диагностика на простатата. Значимостта на задачата произтича от различния, но взаимно допълващ се характер на двете модалности: МРТ осигурява висока пространствена разделителна способност и детайлна анатомична информация, докато PSMA-PET позволява визуализиране на функционални и молекулярни характеристики, свързани с простатно-специфичния мембранен антиген.

Научната актуалност се определя и от факта, че сливането на независимо придобити мултимодални медицински образи остава нетривиална задача поради различията в геометрията, контраста, пространствената резолюция, артефактите и условията на придобиване. Практическата актуалност се засилва от ограничената достъпност на интегрирани PET/MRT системи, което прави софтуерното съвместяване и сливане на данни, получени в различни изследвания, приложима и перспективна алтернатива. Поставените в дисертацията задачи – предварителна обработка, регистрация, разработване на модел за деформируемо подравняване, уейвлет-базирано сливане и обективно оценяване – са логично свързани и съответстват на формулираната цел.

2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал

Дисертационният труд е с обем 172 страници и е структуриран в уводна част, осем глави, приложение, списък на публикациите по дисертацията и библиография. Представеният литературен обзор показва много добро познаване на състоянието на проблема. Разгледани са медицинският контекст на простатния карцином, особеностите, предимствата и ограниченията на МРТ, СТ и PSMA-PET, както и основните съвременни подходи за регистрация и сливане на мултимодални медицински изображения.

Положително оценявам, че литературният материал не е представен като механично изброяване на известни алгоритми, а е организиран около последователността на реалния изследователски процес – предварителна обработка, пространствено съгласуване, деформируема регистрация, сливане и оценяване на резултатите. В дисертацията е показано разбиране на връзката между характеристиките на отделните модалности и

избора на алгоритмични решения. Особено съществено е разглеждането на методите за регистрация в условия на ограничени клинични данни и липса на еднозначна ground-truth референция. Това показва не само добро познаване на литературата, но и способност за нейното критично и творческо интерпретиране спрямо конкретната изследователска задача.

3. Съответствие на избраната методика на изследване и поставената цел и задачи на дисертационния труд с постигнатите приноси

Основната цел на дисертацията е разработване и експериментална оценка на цялостна алгоритмична рамка за мултимодално сливане на MPT и PSMA-PET образни данни на простатата. Избраната методика е адекватна на тази цел и следва логична последователност. Тя включва модалностно специфична предварителна обработка, регистрация на различните образни пространства, използване на VoxelMorph-базиран модел за деформируемо съгласуване, уейвлет-базирано многомащабно сливане и количествено и качествено оценяване на получените резултати.

Обоснована е индиректната PSMA-PET-MPT регистрация чрез CT-MPT подравняване, което отчита особеностите на наличните клинични данни. Изследван е VoxelMorph-базиран подход и е проведено сравнение с утвърдени методи като ANTs и BRAINS. Изследванията са изпълнени върху реални клинични MPT, CT и PSMA-PET данни, предоставени от клиничен партньор. Достоверността на резултатите се подкрепя от сравнителни експерименти, количествени показатели и визуална/качествена оценка. Коректно са посочени ограниченията – размерът на набора от данни и липсата на директни ground-truth референции. В този смисъл избраната методика е в съответствие с поставените задачи и логично води до заявените приноси.

4. Научни и/или научноприложни приноси на дисертационния труд

На основата на представените резултати и в съответствие с характера на разработките приемам, че дисертационният труд съдържа научни, научно-приложни и приложни приноси. Формулирам ги, както следва:

Научни приноси

1. Разработен е цялостен подход за мултимодално образно сливане на MPT и PSMA-PET данни на простатата, който обединява предварителна обработка, регистрация, сливане и оценяване в единна последователна алгоритмична рамка. Научният характер се изразява в обвързването на отделните етапи с особеностите на двете модалности и със съвместното представяне на анатомична и функционално-молекулярна информация.
2. Предложен е подход за пространствено съгласуване на мултимодални образи на простатата, включващ индиректна PSMA-PET-MPT регистрация чрез CT-MPT подравняване. По този начин е формулирана и изследвана последователност за преодоляване на различията между независимо придобити образни данни и за създаване на общо пространствено представяне, необходимо за последващо сливане.
3. Разработен и изследван е адаптивен VoxelMorph-базиран модел за деформируема регистрация при ограничен брой клинични данни, включващ използване на неконтролирано обучение, регуляризация на деформационното поле и аугментация на данните. Приносът е свързан с адаптирането и оценката на съвременен невронен регистрационен подход към специфичните условия на разглежданата медицинска задача.

Научно-приложни приноси

1. Разработени са алгоритми за модалностно специфична предварителна обработка на MPT и PSMA-PET изображения, включително сравнение и избор на подходящи методи за потискане на шум и подготовка на данните според характеристиките на съответната модалност.
2. Проведено е сравнително изследване на предложения VoxelMorph-базиран регистрационен подход спрямо утвърдени класически решения като ANTs и BRAINS върху едни и същи клинични тестови случаи, което позволява обоснована оценка на неговото поведение в реалистични условия.
3. Разработен е триизмерен уейвлет-базиран алгоритъм за многомащабно сливане на анатомичната MPT информация с функционалната PSMA-PET информация чрез отделно обработване и комбиниране на апроксимационни и детайлни коефициенти. Подходът е сравнен с други методи за сливане и е оценен по отношение на запазването на съществената информация от двете модалности.
4. Извършен е систематичен анализ на влиянието на избора на уейвлет функция, дълбочината на декомпозиция и стратегията за сливане върху количествените показатели и визуалните характеристики на получените fusion изображения, което дава практическа основа за избор на параметри при конкретни образни данни.
5. Предложен е комбиниран подход за оценяване на резултатите от предварителната обработка, регистрацията и сливането при липса на директни референтни данни тип ground truth, чрез съчетаване на количествени метрики и качествена експертна оценка.

Приложни приноси

1. Реализирани са програмни модули на Python за регистрация, предварителна обработка, сливане и количествено оценяване на MPT и PSMA-PET изображения, позволяващи възпроизводимо изпълнение на разработената алгоритмична последователност.
2. Разработен е графичен потребителски прототип за зареждане на медицински изображения, избор на параметри на алгоритмите, визуализиране на междинни и крайни резултати и изчисляване на показатели за качество, който демонстрира възможност за практическо използване и последващо развитие на разработените методи.

Считам, че така формулираните приноси са логичен резултат от проведените изследвания и са подкрепени от представените експериментални резултати. Тематичната връзка между дисертационния труд, разработените алгоритми и публикациите дава основание да приема основните резултати и приноси като лично дело на докторантката, реализирано с необходимото научно ръководство.

5. Преценка на публикациите по дисертационния труд.

Основните резултати от дисертационния труд са представени в 7 публикации, тематично свързани с изследването. Те обхващат основните направления на работата – обзор и анализ на методите, предварителна обработка, регистрация, обучение и оценка на регистрационен модел, сравнение на подходи за сливане и уейвлет-базирано многомащабно сливане. Сред посочените публикации има доклади от научни конференции и публикация в сборник на Springer Nature, отбелязана като „in print“. Публикационната активност е достатъчна за дисертационен труд за придобиване на ОНС „доктор“ и отразява съществена част от получените резултати и заявените приноси.

6. Мнения, препоръки и бележки.

Дисертационният труд е завършен, логично структуриран и представя последователно проведеното изследване. Като препоръка за окончателното оформяне бих посочил прецизна финална езикова и техническа редакция на текста, уеднаквяване на терминологията за основните понятия и ясно, компактно представяне на характеристиките на използвания клиничен набор от данни. В бъдещото развитие на работата е целесъобразно експерименталната проверка да се разшири върху по-големи и многоцентрови набори от данни. Тези бележки са препоръчителни и не намаляват научната и научно-приложната стойност на дисертацията.

7. Заключение.

Въз основа на направения анализ давам убедено положителна оценка на дисертационния труд на маг. инж. Диана Цветкова на тема „Алгоритми за мултимодално образно сливане на MPT и PSMA-PET образни данни на простатата“. Трудът представлява завършено самостоятелно научно изследване в актуална интердисциплинарна област и съдържа резултати с научен, научно-приложен и приложен характер. Докторантката демонстрира много добра теоретична подготовка, познаване на съвременните методи за медицинска образна обработка, умения за разработване и адаптиране на алгоритми за регистрация и сливане, както и способност за самостоятелно планиране, провеждане и анализ на научни изследвания.

Считам, че дисертационният труд по съдържание, обем, методологична обоснованост, научни резултати и публикационна активност отговаря на изискванията за придобиване на образователната и научна степен „доктор“. Поради това предлагам на уважащото научно жури да присъди на маг. инж. Диана Цветкова образователната и научна степен „доктор“ в професионално направление 5.3 „Комуникационна и компютърна техника“, научна специалност „Теоретични основи на комуникационната техника“.

Дата: 09.09.2026

ЧЛЕН НА ЖУРИТО:
проф. дн инж. Мариин Маринов

OTZET - KCH - 101
09.09.2026

STATEMENT
on a dissertation
for the award of the educational and scientific degree "Doctor"
professional field 5.3 "Communication and Computer Engineering"
scientific specialty "Theoretical Foundations of Communication Equipment"

Author of the dissertation: M.Sc. Eng. Diana Tsvetkova

Title of the dissertation: "Algorithms for Multimodal Image Fusion of MRI and PSMA-PET Prostate Imaging Data"

Member of the scientific jury: Prof. DSc Eng. Marin Marinov, Technical University of Sofia

1. Relevance of the problem addressed in the dissertation in scientific and applied scientific terms. Degree and level of relevance of the problem and the specific tasks developed in the dissertation

The dissertation addresses a relevant and clearly interdisciplinary scientific problem - the development of algorithms for reliable multimodal fusion of anatomical information from magnetic resonance imaging (MRI) with functional and molecular information from PSMA-PET in prostate imaging. The significance of the task stems from the different yet complementary nature of the two modalities: MRI provides high spatial resolution and detailed anatomical information, whereas PSMA-PET enables visualization of functional and molecular characteristics associated with the prostate-specific membrane antigen.

The scientific relevance is further determined by the fact that fusion of independently acquired multimodal medical images remains a non-trivial task because of differences in geometry, contrast, spatial resolution, artefacts, and acquisition conditions. The practical relevance is strengthened by the limited availability of integrated PET/MRI systems, which makes software-based registration and fusion of data acquired in separate examinations an applicable and promising alternative. The tasks set in the dissertation - preprocessing, registration, development of a model for deformable alignment, wavelet-based fusion, and objective evaluation - are logically related and correspond to the stated aim.

2. Degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the literature

The dissertation comprises 172 pages and is structured into an introductory part, eight chapters, an appendix, a list of publications related to the dissertation, and a bibliography. The literature review demonstrates very good knowledge of the state of the problem. It covers the medical context of prostate cancer, the characteristics, advantages, and limitations of MRI, CT, and PSMA-PET, and the main contemporary approaches to registration and fusion of multimodal medical images.

I positively assess the fact that the literature is not presented as a mechanical enumeration of known algorithms, but is organized around the sequence of the actual research process - preprocessing, spatial alignment, deformable registration, fusion, and evaluation of the results. The dissertation demonstrates an understanding of the relationship between the characteristics of the individual modalities and the selection of algorithmic solutions. Of particular importance is the consideration of registration methods under conditions of limited clinical data and the absence of an unambiguous ground-truth reference. This demonstrates not only good knowledge of the literature, but also the ability to interpret it critically and creatively in relation to the specific research task.

3. Correspondence of the selected research methodology and the stated aim and objectives of the dissertation with the contributions achieved

The dissertation's main aim is to develop and experimentally evaluate a comprehensive algorithmic framework for multimodal fusion of MRI and PSMA-PET prostate imaging data. The selected methodology is appropriate to this aim and follows a logical sequence. It includes modality-specific preprocessing, registration across different image spaces, a VoxelMorph-based model for deformable alignment, wavelet-based multiscale fusion, and quantitative and qualitative evaluation of the results.

The indirect PSMA-PET-to-MRI registration via CT-to-MRI alignment is well justified and accounts for the characteristics of the available clinical data. We investigated a VoxelMorph-based approach and compared it with established methods such as ANTs and BRAINS. The studies were conducted on real clinical MRI, CT, and PSMA-PET data provided by a clinical partner. Comparative experiments, quantitative indicators, and visual/qualitative assessment support the reliability of the results. The limitations - the size of the dataset and the absence of direct ground-truth references - are correctly identified. In this respect, the selected methodology is consistent with the stated objectives and logically leads to the claimed contributions.

4. Scientific and/or applied scientific contributions of the dissertation

On the basis of the presented results and in accordance with the nature of the developments, I consider that the dissertation contains scientific, scientific-applied, and applied contributions. I formulate them as follows:

Scientific Contributions

1. A comprehensive approach for multimodal fusion of MRI and PSMA-PET prostate imaging data has been developed, integrating preprocessing, registration, fusion, and evaluation within a unified sequential algorithmic framework. Its scientific contribution lies in linking each stage to the specific features of the two modalities and in jointly representing anatomical and functional-molecular information.
2. An approach for spatial alignment of multimodal prostate images has been proposed, including indirect PSMA-PET-to-MRI registration through CT-to-MRI alignment. In this way, a sequence has been formulated and investigated to overcome differences between independently acquired imaging data and to create a common spatial representation required for subsequent fusion.
3. An adaptive VoxelMorph-based model for deformable registration under conditions of a limited amount of clinical data has been developed and investigated, including unsupervised learning, deformation-field regularization, and data augmentation. The contribution involves adapting and evaluating a contemporary neural-network registration approach to the specific conditions of the medical problem under consideration.

Scientific-Applied Contributions

1. Algorithms for modality-specific preprocessing of MRI and PSMA-PET images have been developed, including comparison and selection of appropriate methods for noise suppression and data preparation according to the characteristics of the respective modality.
2. A comparative study of the proposed VoxelMorph-based registration approach against established classical solutions such as ANTs and BRAINS has been conducted on the same clinical test cases, enabling a substantiated assessment of its behaviour under realistic conditions.

3. A three-dimensional wavelet-based algorithm for multiscale fusion of anatomical MRI information with functional PSMA-PET information has been developed through separate processing and combination of approximation and detail coefficients. The approach was compared with other fusion methods and evaluated for its ability to preserve essential information from both modalities.
4. A systematic analysis has been carried out of the influence of the selected wavelet function, decomposition depth, and fusion strategy on the quantitative indicators and visual characteristics of the resulting fused images, providing a practical basis for parameter selection for specific imaging data.
5. A combined approach has been proposed for evaluating the results of preprocessing, registration, and fusion in the absence of direct ground-truth reference data, through the combination of quantitative metrics and qualitative expert assessment.

Applied Contributions

1. Python software modules have been implemented for registration, preprocessing, fusion, and quantitative evaluation of MRI and PSMA-PET images, allowing reproducible execution of the developed algorithmic workflow.
2. A graphical user interface prototype has been developed for loading medical images, selecting algorithm parameters, visualizing intermediate and final results, and calculating quality indicators, demonstrating the potential for practical use and further development of the proposed methods.

I consider the contributions outlined above a logical result of the research conducted and supported by the experimental results presented. The thematic relationship between the dissertation, the developed algorithms, and the publications gives me grounds to regard the main results and contributions as the doctoral candidate's own work, carried out with the necessary scientific supervision.

5. Evaluation of the publications related to the dissertation.

The dissertation's main results are presented in 7 publications thematically related to the research. They cover the principal areas of the work - review and analysis of methods, preprocessing, registration, training and evaluation of a registration model, comparison of fusion approaches, and wavelet-based multiscale fusion. The listed publications include papers presented at scientific conferences and a publication in a Springer Nature proceedings volume indicated as "in print". The publication activity is sufficient for a dissertation for the award of the educational and scientific degree "Doctor" and reflects a substantial part of the obtained results and claimed contributions.

6. Opinions, recommendations and notes.

The dissertation is complete, logically structured, and presents the conducted research in a consistent manner. As recommendations for final preparation, I suggest a careful linguistic and technical revision of the text, harmonization of the terminology for key concepts, and a clear, concise presentation of the characteristics of the clinical dataset. For future development, it would be appropriate to extend the experimental validation to larger, multicentre datasets. These comments are recommendations and do not diminish the scientific and scientific-applied value of the dissertation.

7. Conclusion.

On the basis of the analysis presented above, I give an unequivocally positive assessment of the dissertation by M.Sc. Eng. Diana Tsvetkova entitled "Algorithms for Multimodal Image Fusion of MRI and PSMA-PET Prostate Imaging Data". The work represents a completed independent scientific study in a relevant interdisciplinary field and presents scientific, scientific-applied, and applied results. The doctoral candidate demonstrates strong theoretical preparation, knowledge of contemporary methods for medical image processing, skills in developing and adapting algorithms for registration and fusion, and the ability to independently plan, conduct, and analyse scientific research.

I consider that, in terms of content, scope, methodological soundness, scientific results, and publication activity, the dissertation meets the requirements for the award of the educational and scientific degree "Doctor". I therefore propose that the esteemed Scientific Jury award M.Sc. Eng. Diana Tsvetkova the educational and scientific degree "Doctor" in professional field 5.3 "Communication and Computer Engineering", scientific specialty "Theoretical Foundations of Communication Equipment".

Date: 09.09.2026

MEMBER OF THE SCIENTIFIC JURY:
Prof. D.Sc Eng. Marin Marinov