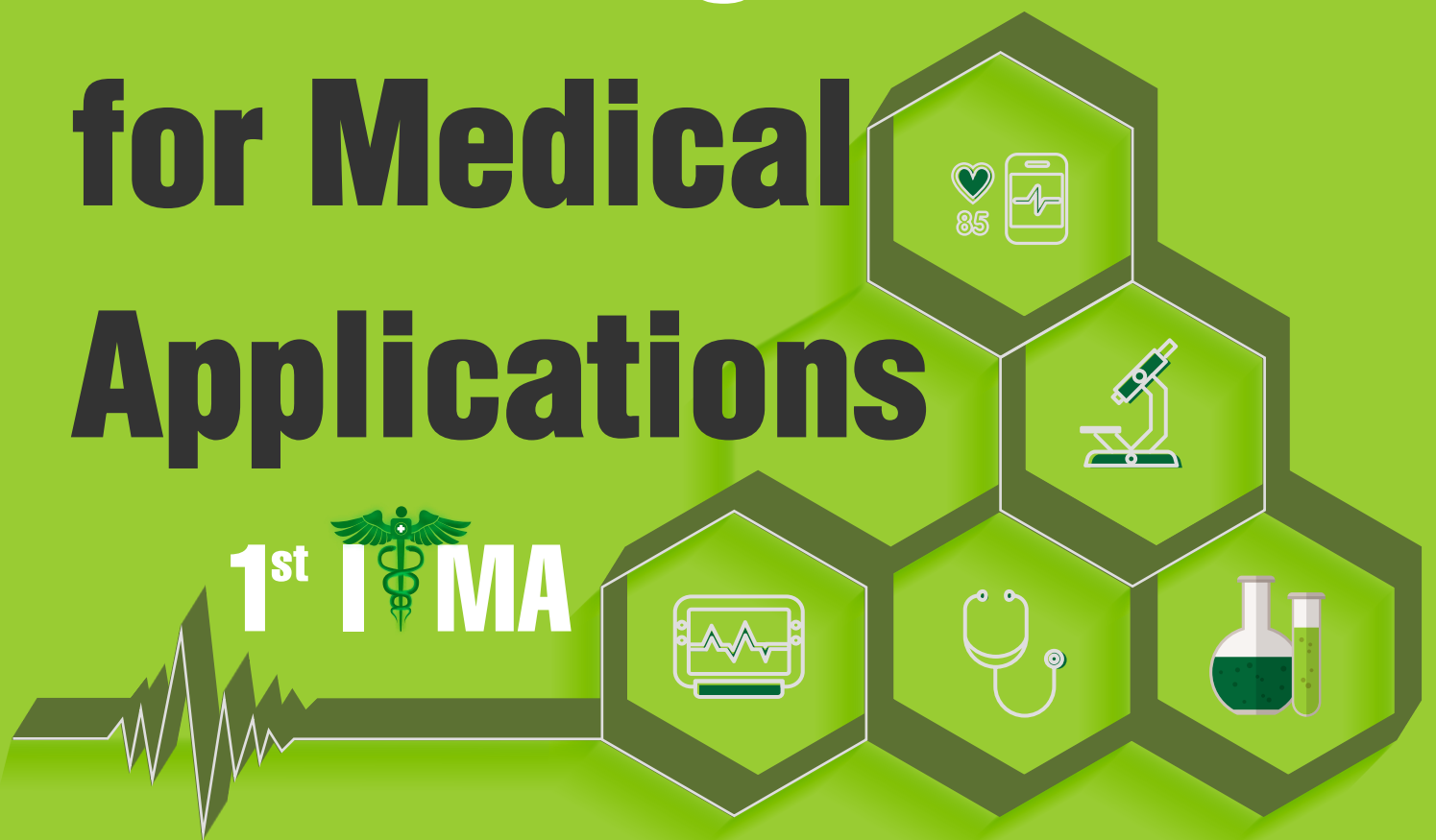


Abstracts Book

Innovative Technologies for Medical Applications



1st IMA

December 01 to 02, 2022
Bucaramanga, Colombia

Universidad
Industrial de
Santander





Said Pertuz
Chairman 1st ITMA

Ely Dannier V. Niño
Editor, Layout Coordinator

Erick Yovardo Parra Cañas
Cover Design, Web Design, Web Programming

Abstract Book Mailing Address Information

Grupo en Conectividad y Procesamiento de Señales
Universidad Industrial de Santander (UIS)
Bucaramanga, Santander, Colombia
E-mail: cps.info@uis.edu.co

Copyright © 2022 UIS – UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Abstracts Book of the First Innovative Technologies for Medical Applications (1st ITMA); academic and scientific event sponsored by the research group on Conectividad y Procesamiento de Señales and the research group on Ciencia de Materiales Biológicos y Semiconductores. **ISSN 2954-9728**. This is a publication of the FORISTOM Foundation; the responsibility for the information published lies with the speakers themselves.



Organizing Committee

Said Pertuz (Chairman)
David Alejandro Miranda Mercado (Co-Chairman)

National Scientific Committee

- Dra. Miryam Rincón Joya
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- Dr. José José Barba Ortega
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- Said Pertuz
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga
- Dr. David Alejandro Miranda Mercado
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga
- Dr. Enrique Mejía Ospino
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga
- Dr. Rogelio Ospina Ospina
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga
- Dr. Rafael Cabanzo Hernández
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga
- Janeth Fernández Pinto
Universidad de Investigación y Desarrollo, Bucaramanga
- Dr. Ely Dannier V. Niño
Foundation of Researchers in Science and Technology of Materials, Bucaramanga
- Dr. (c) Anderson Sandoval Amador
Foundation of Researchers in Science and Technology of Materials, Bucaramanga
- Dr. (c) Linda Esperanza Bertel Garay
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

International Scientific Committee

- Otso Arponen
Tampere University Hospital, Finland
- Dr. José Miguel García Martín
Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Spain
- Dr. José Luis Endrino Armenteros
Universidad Loyola, Spain
- Dr. Iván Fernández Martínez
Nano4Energy, Spain
- Dr. Aimilia Gastounioti
Washington University, United States of America
- Dr. Mariana Pereyra Perez
Universidad de la República, Uruguay
- Dr. Eduardo Daniel Méndez Morales
Universidad de la República, Uruguay
- Dr. Paulo Roberto Bueno
Universidade Estadual Paulista, Brazil



Invited Speakers

- ✓ Dr. Otso Arponen
Tampere University Hospital, Finland
- ✓ Dr. José Miguel García Martín
Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Spain
- ✓ Dr. Aimilia Gastounioti
Washington University, United States of America
- ✓ Dr. Paulo Roberto Bueno
Universidade Estadual Paulista, Brazil

Topics



Mammographic image analysis



Modeling, image or signal processing in medical applications



Technologies for the diagnosis, detection or screening of cancer



Radiology, nuclear medicine and imaging

Universidad
Industrial de
Santander





Contents

Radiology, Nuclear Medicine, and Imaging	1
Predictive and prognostic biomarkers in breast cancer using computational imaging phenotypes and artificial intelligence	2
Technologies for the Diagnosis, Detection, or Screening of Cancer	3
Clinical notes on cancer screening, diagnosis, and detection from a radiologist’s perspective	4
Challenges for tech innovation in health care sector in Latin America.....	5
A benchmark of deep learning based models for breast cancer detection.....	6
Breast lesion detection algorithm using ideal speed of sound images.....	7
Challenges and opportunities associated with carrying out a pilot study in healthcare environment	9
Development of a biosensor for the recognition of folate receptors.....	11
Breast cancer screening and carcinogenic field effect: a review of the state of the art	12
Modeling, Image, or Signal Processing in Medical Applications	13
Applications in biomedicine of metallic nanocolumnar films	14
Detection of autism using multilevel wavelet decomposition and support vector machines	15
Improving the breast ultrasound image resolution using generative adversarial network	16
Mammographic Image Analysis	17
Region of interest classifier in mammographic images using logistic regression.....	18
Effect of field cancerization on breast texture features: an in silico study	19
Transfer learning in data-limited scenarios for breast cancer risk assessment	20



Radiology, Nuclear Medicine, and Imaging



Predictive and prognostic biomarkers in breast cancer using computational imaging phenotypes and artificial intelligence

Biomarcadores predictivos y pronosticadores de cáncer de mama utilizando fenotipos de imágenes computacionales e inteligencia artificial

A Gastouniotti¹

¹ Washington University, Seattle, United States of America

E-mail: a.gastouniotti@wustl.edu

Abstract. Radiomics and artificial intelligence have undoubtedly expanded the utility of medical imaging in predictive and prognostics models in cancer research, and as a result they have also pervaded breast cancer screening as one of the most promising computerized breast imaging tools. In this presentation, I will share with you example research projects ranging from (a) imaging phenotypes extracted from mammography and their role in advancing breast cancer risk assessment; to (b) magnetic resonance imaging phenotypes of tumor heterogeneity predictive of breast cancer recurrence; and (c) prognostic models based on dynamic positron emission tomography imaging biomarkers.

Resumen. Sin duda, la radiómica y la inteligencia artificial han ampliado la utilidad de las imágenes médicas en modelos predictivos y pronósticos en la investigación del cáncer y, como resultado, también han impregnado la detección del cáncer de mama como una de las herramientas computarizadas de imágenes mamarias más prometedoras. En esta presentación, compartiré con ustedes proyectos de investigación de ejemplo que van desde (a) fenotipos de imágenes extraídos de la mamografía y su papel en el avance de la evaluación del riesgo de cáncer de mama; a (b) fenotipos de imagen por resonancia magnética de heterogeneidad tumoral predictiva de recurrencia del cáncer de mama; y (c) modelos de pronóstico basados en biomarcadores de imágenes de tomografía por emisión de positrones dinámica.

Technologies for the Diagnosis, Detection, or Screening of Cancer



Clinical notes on cancer screening, diagnosis, and detection from a radiologist's perspective

Notas clínicas sobre la detección, el diagnóstico, y la detección del cáncer desde la perspectiva de un radiólogo

O Arponen¹

¹ Tampere University Hospital, Tampere, Finland

E-mail: otso.arponen@tuni.fi

Abstract. Screening, diagnosis, and detection of cancers have pivotal roles in improving cancer-related outcomes. Cancer screening aims at detecting malignant tumors before the onset of symptoms, whereas the characterization of detected tumors into likely benign and malignant tumors impacts how doctors manage them; indeed, the detection of tumors links to both tasks. The current multimodal approach in radiology has improved the screening practices, diagnostics, and detection of cancers. I will discuss the current practices in cancer screening, diagnostics tumor detection in radiology in hopes that the audience may put the seminar's talks into clinical context; indeed, technological development paves the way for further discoveries and hopefully to even more refined clinical practices.

Resumen. Los exámenes de detección, el diagnóstico y la detección de cánceres tienen funciones fundamentales para mejorar los resultados relacionados con el cáncer. La detección del cáncer tiene como objetivo detectar tumores malignos antes de la aparición de los síntomas, mientras que la caracterización de los tumores detectados en tumores probablemente benignos y malignos afecta la forma en que los médicos los manejan; de hecho, la detección de tumores se relaciona con ambas tareas. El enfoque multimodal actual en radiología ha mejorado las prácticas de detección, diagnóstico y detección de cánceres. Discutiré las prácticas actuales en la detección del cáncer, la detección diagnóstica de tumores en radiología con la esperanza de que la audiencia pueda poner las charlas del seminario en un contexto clínico; de hecho, el desarrollo tecnológico allana el camino para nuevos descubrimientos y, con suerte, para prácticas clínicas aún más refinadas.



Challenges for tech innovation in health care sector in Latin America

Desafíos para la innovación tecnológica en el sector salud en Latinoamérica

P R Bueno¹

¹ Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Brazil

E-mail: paulo-roberto.bueno@unesp.br

Abstract. As an academic that has been engaged with technological entrepreneurial challenges in medical diagnostics, I will demonstrate that the creation of technological-based companies involves establishing a technologic cluster dynamic that involves the cooperation between academics and private sector agents. The model is well-known in the international context but largely ignored in Latin America. I will demonstrate that nanotechnology has a huge potential for business and obviously the successful implementation of a business in this healthcare sector involves establishing scientific and innovative policies that depend on government initiatives able of helping in the integration of the academics and private financial sectors.

Resumen. Como académico que ha estado involucrado en desafíos de emprendimiento tecnológico en diagnóstico médico, demostraré que la creación de empresas de base tecnológica implica establecer una dinámica de clúster tecnológico que involucra la cooperación entre académicos y agentes del sector privado. El modelo es bien conocido en el contexto internacional pero mayormente ignorado en América Latina. Demostraré que la nanotecnología tiene un enorme potencial empresarial y obviamente la implementación exitosa de un negocio en este sector de la salud implica establecer políticas científicas e innovadoras que dependan de iniciativas gubernamentales capaces de ayudar en la integración de los sectores académico y financiero privado.



A benchmark of deep learning based models for breast cancer detection

Evaluación comparativa de modelos basados en aprendizaje profundo para la detección del cáncer de seno

D E Ortega Figueroa¹, and E Y Suárez Bonilla¹

¹ Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

E-mail: erikasuarz.eyb@gmail.com

Abstract. Mammography is an imaging modality for the visualization of breast tissue. It is fast, noninvasive and an effective method for the early detection of breast cancer. Currently, there are multiple deep learning-based models in screening mammography with promising results in aiding detection and diagnosis tasks from mammography. These models vary widely in topology, training methods, and validation. However, these results sometimes depend on the use of test sets drawn from the same distribution as the training data, so it is common for some models to have difficulties in reproducibility, robustness, and generalizability when implementation conditions change. For this reason, it is important to perform external validations to analyze the quality of the performance. In this work, AUC-ROC evaluation of five different models is performed with a private database, which has mammograms from both, breast cancer patients and healthy controls, to compare their respective performances.

Resumen. La mamografía es una modalidad de imagen para la visualización del tejido mamario. Es rápida, no invasiva y un método eficaz para la detección temprana del cáncer de mama. Actualmente, existen múltiples modelos basados en aprendizaje profundo en mamografía de cribado con resultados prometedores para ayudar en las tareas de detección y diagnóstico en mamografía. Estos modelos varían mucho en cuanto a topología, métodos de entrenamiento y validación. Sin embargo, estos resultados a veces dependen del uso de conjuntos de prueba extraídos de la misma distribución que los datos de entrenamiento, por lo que es común que algunos modelos tengan dificultades de reproducibilidad, robustez y generalización cuando cambian las condiciones de implementación. Por este motivo, es importante realizar validaciones externas para analizar la calidad del rendimiento. En este trabajo, se realiza la evaluación AUC-ROC de cinco modelos diferentes con una base de datos privada, que tiene mamografías de pacientes con cáncer de mama y controles sanos, para comparar sus respectivos rendimientos.



Breast lesion detection algorithm using ideal speed of sound images

Algoritmo de detección de lesiones mamarias utilizando imágenes ideales de velocidad del sonido

A Ramirez¹, A F Vargas Molano¹, A N Hernández Durán¹, and S Pertuz¹

¹ Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

E-mail: anaberam@uis.edu.co

Abstract. New imaging techniques have been the subject of research in recent years. In breast cancer, one of the imaging techniques that attracts attention is ultrasound computed tomography, which makes it possible to obtain images that quantitatively represent the acoustic properties (speed of sound, acoustic attenuation, density) of breast tissues. In contrast to standard imaging modalities that use ionizing radiation and require breast compression, such as mammography, this imaging modality is painless, non-invasive and radiation-free. However, ultrasound computed tomography is still in the development stage, so there are no real databases of these imaging modalities. In-silico clinical trials have been very well received in the investigation of new technologies since they allow algorithms to be explored safely and economically in the early stages of technological development. Under the hypothesis that medical images contain relevant information about the development of a disease that is not perceptible through human observation, the concept of radiomic analysis has been accepted in the field of oncology. The main objective of radiomic analysis is the extraction and analysis of different quantitative features of medical images. These features are typically used to train a learning algorithm to provide a detection score. In this work, we propose an algorithm for the detection of lesions in 3D synthetic breast phantoms from speed of sound images. To this end, a set of 120 breast phantoms was first generated, of which 60 included a lesion (spiculated mass). Then, from the phantoms, the speed of sound images is obtained, this is done by replacing each of the voxel labels of each tissue with the speed of sound propagation value reported in the literature. Subsequently, a methodology for the detection of lesions was implemented, which consisted of the extraction of radiomic features at the cut-off level, which feed a classifier composed of a logistic regression and a weighting algorithm. The weighting algorithm consisted of a 3-tap moving average receiving the detection score of each slice as input and giving a detection score at the breast level as output. Finally, the performance of this speed of sound image-based classifier is evaluated in terms of AUC. Experiments validated with 5-fold cross-validation produced an AUC of 0.73 (95% CI: 0.64-0.82), 0.89 (95% CI: 0.83-0.95), and 0.94 (95% CI: 0.89-0.98) for radiomic analysis using SOS images with a pixel size of 1.5 mm, 2.0 mm, and 2.5 mm, respectively. Our results suggest that radiomic analysis of speed of sound images could help in the breast lesion detection task. The use of radiomic analysis using reconstructions of speed of sound images by ultrasound computed tomography should be further investigated.

Resumen. Nuevas técnicas de imagenología han sido objeto de investigación en los últimos años. En el cáncer de seno, una de las técnicas de imagen que llama la atención es la tomografía computarizada por ultrasonido, que permite obtener imágenes que representan cuantitativamente las propiedades acústicas (velocidad del sonido, atenuación acústica, densidad) de los tejidos mamarios. A diferencia de las modalidades estándar de imágenes que usan radiación ionizante y requieren compresión del seno, como la mamografía, esta modalidad de imágenes es indolora, no invasiva y libre de radiación. Sin embargo, la tomografía computarizada por ultrasonido aún se encuentra en etapa de desarrollo, por lo que no existen bases de datos reales de estas modalidades de imagen. Los ensayos clínicos in-silico han tenido muy buena acogida en la investigación de nuevas tecnologías, ya que permiten explorar algoritmos de forma segura y económica en las primeras etapas del desarrollo tecnológico. Bajo la hipótesis de que las imágenes médicas contienen información relevante sobre el desarrollo de una enfermedad que no es perceptible a través de la observación humana, el concepto de análisis radiómico ha sido aceptado en el campo de la oncología. El principal objetivo del análisis radiómico es la extracción y análisis de diferentes características cuantitativas de las imágenes médicas. Estas características se utilizan normalmente para entrenar un algoritmo de aprendizaje para proporcionar una puntuación de detección. En este trabajo, proponemos un algoritmo para la detección de lesiones en phantoms 3D de seno a partir de imágenes de velocidad del sonido. Para ello, primero se generó un conjunto de 120 phantoms de seno, de los cuales 60 incluían una lesión (masa espiculada). Luego, a partir de los phantoms se obtienen las imágenes de velocidad del sonido, esto se hace reemplazando

cada una de las etiquetas de vóxel de cada tejido con el valor de velocidad de propagación del sonido reportado en la literatura. Posteriormente, se implementó una metodología para la detección de lesiones que consistió en la extracción de características radiómicas en cada corte, las cuales alimentan un clasificador compuesto por una regresión logística y un algoritmo de ponderación. El algoritmo de ponderación consistía en un promedio móvil de orden 3 que recibía la puntuación de detección de cada corte como entrada y daba una puntuación de detección al nivel de seno como salida. Finalmente, el desempeño de este clasificador basado en imágenes de velocidad del sonido se evalúa en términos de AUC. Experimentos validados con validación cruzada de 5 veces produjo un AUC de 0,73 (IC 95\%: 0,64-0,82), 0,89 (IC 95\%: 0,83-0,95) y 0,94 (IC 95\%: 0,89-0,98) para el análisis radiómico utilizando imágenes de velocidad del sonido con un tamaño de píxel de 1,5 mm, 2,0 mm y 2,5 mm, respectivamente. Nuestros resultados sugieren que el análisis radiómico de imágenes de velocidad del sonido podría ayudar en la tarea de detección de lesiones mamarias. El uso del análisis radiómico usando reconstrucciones de imágenes de velocidad del sonido mediante tomografía computarizada por ultrasonido debe investigarse más a fondo.



Challenges and opportunities associated with carrying out a pilot study in healthcare environment

Desafíos y oportunidades asociados a la realización de un estudio piloto en entorno clínico

L J Rojas Bohórquez¹, and D A Miranda¹

¹ Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

E-mail: fisjohanarb0911@gmail.com

Abstract. Scientific and technological advances in health represent a challenge not only in terms of interdisciplinary research development but also in moving towards stages in which new technologies are put into operation in the healthcare environment through studies that directly involve the participation of humans. The good clinical practice guide is an international standard of ethical and scientific quality for the design, conduct, performance, monitoring, auditing, registration, analysis, and reporting of clinical studies; this model guarantees that the reported data and results of the study are credible and accurate, protecting patients' rights, integrity, and confidentiality. Furthermore, research applied to medicine carries out a series of challenges when faced with the reality of the clinical environment, like the training of the researchers involved, the logistics in the medical center, and the communication with the health staff and the patient. In this presentation, we will share the experience of the research team involved in the project "Estudio Piloto para la Evaluación Clínica de la Tecnología FEDSA en la Detección de Cáncer de Mama" at the Hospital Universitario de Santander. Field effect detection by spectral analysis is a technology developed for the early detection of breast cancer. Field effect detection by spectral analysis is being evaluated clinically at the Hospital Universitario de Santander, for which it was necessary to design a data collection protocol and its approval by both the ethics committee of the Universidad Industrial de Santander and of the Hospital Universitario de Santander. It was necessary to design a protocol to perform examinations with the field effect detection by spectral analysis technology in women who attend the Hospital Universitario de Santander to undergo the mammography examination; doctors, physicists, and systems and electronics engineers of different levels of training conform project research team. The research team had the opportunity to participate in an interdisciplinary project in a clinical environment where besides the skills of each area, the development of soft skills like communication, flexibility, leadership, motivation, patience, persuasion, problem-solving, and teamwork is important. This presentation aims to socialize the challenges faced in this project, so researchers can learn about experiences that could be used to anticipate possible situations and have a better understanding of the clinical environment in which they will perform, in addition to highlighting the importance of the interaction of the researcher with health staff and with the patient to meet the needs that they present and thus make research applied to medicine an activity more human and empathetic.

Resumen. Los avances científicos y tecnológicos en materia de salud representan un desafío no solo en términos del desarrollo investigativo interdisciplinar, también en el avance hacia etapas en las cuales las nuevas tecnologías son puestas en funcionamiento en entornos clínicos a través de estudios que involucran directamente la participación de seres humanos. La guía de buenas prácticas clínicas es un estándar internacional de calidad ética y científica para el diseño, conducción, realización, monitoreo, auditoría, registro, análisis y reporte de estudios clínicos; este modelo garantiza que los datos y los resultados reportados sean creíbles y precisos, protegiendo los derechos, integridad y confidencialidad de los sujetos del estudio. Además del cumplimiento de los estándares de calidad ética y científica, al realizar investigaciones aplicadas a la medicina se debe sortear una serie de desafíos cuando se enfrenta a la realidad del entorno clínico, los cuales están relacionados con la capacitación de los investigadores involucrados, la logística en el centro donde se realiza el estudio, la comunicación con el personal de salud y la relación con el paciente. En esta presentación se socializará la experiencia que ha tenido el equipo investigador involucrado en el proyecto "Estudio Piloto para la Evaluación Clínica de la Tecnología FEDSA en la Detección de Cáncer de Mama" en el Hospital Universitario de Santander, institución prestadora de servicios de salud con la cual se suscribió un convenio para realizar la evaluación clínica de la tecnología de detección de defectos de campo mediante análisis espectral. La detección de defectos de campo mediante análisis espectral es una tecnología

desarrollada para la detección temprana de cáncer de mama que está siendo evaluada clínicamente en el Hospital Universitario de Santander, para lo cual fue necesario el desarrollo de un protocolo de toma de datos y su aprobación tanto por el comité de ética de la Universidad Industrial de Santander como por el comité de ética del Hospital Universitario de Santander. Este protocolo fue diseñado para realizar la toma de exámenes con la tecnología de detección de defectos de campo mediante análisis espectral en mujeres que asisten al Hospital Universitario de Santander para someterse al examen de mamografía; el equipo investigador de este proyecto está conformado por médicos, físicos, ingenieros de sistemas y electrónicos de diferentes niveles de formación, quienes han tenido la oportunidad de participar de un proyecto interdisciplinar en entorno clínico, para lo cual es importante además de las competencias propias de cada área, el desarrollo de habilidades blandas de comunicación, flexibilidad, liderazgo, motivación, paciencia, persuasión, resolución de problemas y trabajo en equipo. El objetivo de esta presentación es socializar los desafíos a los cuales se han enfrentado los integrantes de este proyecto para que los investigadores que están incursionando en el campo de las aplicaciones a la medicina, conozcan experiencias que puedan servir para prever posibles situaciones y tener un mejor entendimiento del ambiente clínico en el cual se van a desempeñar, además de resaltar la importancia de la interacción del investigador con el personal de salud y con el paciente para conocer las necesidades que estos presentan y así hacer de la investigación aplicada a la medicina una actividad más humana y empática.



Development of a biosensor for the recognition of folate receptors

Desarrollo de un biosensor para el reconocimiento de receptores de folato

L Bertel Garay¹, R Ospina¹, J M García Martín², and D A Miranda¹

¹ Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

² Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Tres Cantos, Spain

E-mail: dalemir@uis.edu.co

Abstract. The overexpression of folate receptors on the cell surface is related to an abnormality associated with epithelial cancer. In this sense, a capacitive biosensor was developed that uses folic acid as bio-recognition element for the detection of folate receptors. The detector consists mainly of a titanium-tungsten oxides thin film conjugated to folic acid, which functions as a working electrode in a three-electrode electrochemical cell configuration. The interactions between the biosensor and the folate receptors were studied by means of the determination of the chemical hardness from electrochemical capacitance spectroscopy measurements. The titanium-tungsten oxides thin film was fabricated by the pulsed laser deposition method and subsequently functionalized with folic acid. The characterization of the film before and after functionalization was performed by means of atomic force microscopy, X-ray emitted photoelectron spectroscopy, Raman spectroscopy and contact angle. Folate receptor recognition assays using the fabricated biosensor showed that the detector response signal, chemical hardness (in terms of electrochemical capacitance), is selectively and directly proportional to folate receptor concentration, with a limit of detection of 0.2 nM. This result is promising in the application of this type of biosensor for the recognition of folate receptors, especially for point-of-care analysis.

Resumen. La sobre-expresión de receptores de folato en la superficie celular está relacionada con una anomalía asociada al cáncer epitelial. En este sentido, se desarrolló un biosensor capacitivo que utiliza el ácido fólico como elemento de bio-reconocimiento para la detección de receptores de folato. El detector consiste principalmente en una película delgada de óxidos de titanio-tungsteno conjugada al ácido fólico, que funciona como electrodo de trabajo en una configuración de celda electroquímica de tres electrodos. Las interacciones entre el biosensor y los receptores de folato se estudiaron por medio de la determinación de la dureza química a partir de medidas de espectroscopía de capacitancia electroquímica. La película delgada de óxidos de titanio-tungsteno se fabricó mediante el método de deposición por láser pulsado y posteriormente, se funcionalizó con ácido fólico. La caracterización de la película antes y después de la funcionalización se realizó por medio de microscopía de fuerzas atómicas, espectroscopía de fotoelectrones emitidos por rayos X, espectroscopía Raman y ángulo de contacto. Los ensayos de reconocimiento de receptores de folato usando el biosensor fabricado mostraron que la señal de respuesta del detector, la dureza química (en términos de la capacitancia electroquímica), es selectiva y directamente proporcional a la concentración de receptores de folato, con un límite de detección de 0,2 nM. Este resultado es prometedor en la aplicación de este tipo de biosensor para el reconocimiento de receptores de folato, especialmente para análisis en el lugar de atención.



Breast cancer screening and carcinogenic field effect: a review of the state of the art

Cribado del cáncer de mama y efecto de campo carcinogénico: una revisión del estado del arte

J Jerez¹, S Pertuz¹, and D A Miranda¹

¹ Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

E-mail: julian2228097@correo.uis.edu.co

Abstract. Breast cancer is the most common cancer among women worldwide; early detection is crucial in minimizing the progression to advanced stages of breast cancer and reducing associated mortality. Breast cancer screening is defined as testing women before the onset of noticeable symptoms. New imaging modalities have recently emerged besides traditional breast cancer screening techniques, such as mammography or ultrasound. Optical imaging is a technique that has been studied for breast cancer detection, as it has excellent advantages, such as non-invasiveness and non-toxicity. The detection of the field cancerization effect or field effect has been studied to detect abnormalities related to breast cancer. This effect consists of genetic or epigenetic variations in tissues of normal histological appearance. Field effect detection by spectral analysis is a novel technique developed at the Universidad Industrial de Santander, based on field effect detection to detect abnormalities in breast tissue. This technique uses near- infrared technology to irradiate the breast and acquire signals from the light backscattered by the breast tissue. This work aims to review the literature related to breast cancer screening. In addition, field cancerization and its use for breast cancer screening are presented.

Resumen. El cáncer de mama es el más frecuente entre las mujeres de todo el mundo; la detección precoz es crucial para minimizar la progresión a fases avanzadas del cáncer de mama y reducir la mortalidad asociada. El cribado del cáncer de mama se define como la realización de pruebas a las mujeres antes de la aparición de síntomas perceptibles. Recientemente han surgido nuevas modalidades de imagen, además de las técnicas tradicionales de cribado del cáncer de mama, como la mamografía o la ecografía. Las imágenes ópticas son una técnica que se ha estudiado para la detección del cáncer de mama, ya que presenta excelentes ventajas, como la no invasividad y la no toxicidad. Se ha estudiado la detección del efecto de campo carcinogénico o efecto de campo para detectar anomalías relacionadas con el cáncer de mama. Este efecto consiste en variaciones genéticas o epigenéticas en tejidos de apariencia histológica normal. La detección de defectos de campo mediante análisis espectral es una técnica novedosa desarrollada en la Universidad Industrial de Santander, basada en la detección de efecto campo para detectar anomalías en el tejido mamario. Esta técnica utiliza la tecnología del infrarrojo cercano para irradiar la mama y adquirir señales de la luz retrodispersada por el tejido mamario. Este trabajo tiene como objetivo revisar la literatura relacionada con la detección del cáncer de mama. Además, se presenta la cancerización de campo y su uso para el cribado del cáncer de mama.



Modeling, Image, or Signal Processing in Medical Applications



Applications in biomedicine of metallic nanocolumnar films

Aplicaciones en biomedicina de películas nanocolumnares metálicas

J M García Martín¹

¹ Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Tres Cantos, Spain

E-mail: josemiguel.garcia.martin@csic.es

Abstract. In this talk, I will review different applications in biomedicine that we have developed using metallic nanocolumnar films. Those films are fabricated by a physical method: glancing angle deposition using magnetron sputtering. This technique is environmentally friendly, since it is carried out at room temperature in a single step and does not involve chemical products (therefore, without recycling problems). Moreover, this strategy can be scaled up to large surfaces, representing a valid approach for the industrial production of nanostructured films. After a brief introduction about the fabrication method, I will show several applications of these systems in biomedicine. In particular, titanium nanocolumnar films can be used as antibacterial coatings for orthopedic implants, platinum nanocolumnar films show improved properties as bioelectrodes for an electric stimulation platform in vitro, and gold nanocolumnar films are excellent substrates for the identification of biomolecules in surface enhanced Raman spectroscopy.

Resumen. En esta charla, revisaré diferentes aplicaciones en biomedicina que hemos desarrollado utilizando películas metálicas nanocolumnares. Esas películas se fabrican mediante un método físico: deposición en ángulo oblicuo mediante pulverización catódica con magnetrón. Esta técnica es respetuosa con el medio ambiente, ya que se realiza a temperatura ambiente en un solo paso y no implica productos químicos (por tanto, sin problemas de reciclado). Además, esta estrategia se puede escalar a grandes superficies, lo que representa un enfoque válido para la producción industrial de películas nanoestructuradas. Después de una breve introducción sobre el método de fabricación, mostraré varias aplicaciones de estos sistemas en biomedicina. En particular, las películas nanocolumnares de titanio se pueden usar como recubrimientos antibacterianos para implantes ortopédicos, las películas nanocolumnares de platino presentan interesantes propiedades para su uso como bioelectrodos en una plataforma de estimulación eléctrica in vitro y las películas nanocolumnares de oro son excelentes soportes para la identificación de biomoléculas en espectroscopia Raman mejorada en superficie.



Detection of autism using multilevel wavelet decomposition and support vector machines

DetECCIÓN DEL AUTISMO UTILIZANDO DESCOMPOSICIÓN MULTINIVEL DE WAVELET Y MÁQUINAS DE SOPORTE VECTORIAL

W Cancino¹

¹ Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

E-mail: william.cancino1998@gmail.com

Abstract. Autism spectrum disorder is a neurodevelopmental disorder characterized by deficits in communication and social interaction, restricted activities and interest, and repetitive behavior patterns. The current diagnosis of autism spectrum disorder is highly subjective and can lead to inaccuracies, as it is based on purely behavioral observations. In addition, due to the complex symptoms of the disease, a proper diagnosis can take time. However, early, and accurate detection of autism spectrum disorder is essential to implement treatments that improve the patient's condition and quality of life. For this reason, the combination of machine learning techniques and neuroimaging has become a promising candidate to reduce subjectivity and improve the diagnostic process. Specifically, resting-state functional magnetic resonance imaging is of special interest as it allows the study of possible abnormalities in functional brain connectivity associated with autism. Thus, in our work we propose a classification framework for autism spectrum disorder based on support vector machines and multilevel discrete wavelet decomposition. For this purpose, we used 175 resting-state functional magnetic resonance imaging sequences from the Autism Brain Imaging Data Exchange dataset. From these images, we extract time series of regions of interest defined by a brain atlas. In the next stage, these time series are analyzed in different frequency bands by multilevel discrete wavelet decomposition and the resulting subseries are used to build functional connectivity matrices. Finally, the features extracted from such matrices serve as input to the support vector machines classifier. The results of a 5-fold cross validation show that the use of multilevel discrete wavelet decomposition in signal analysis provides an improvement in classifier performance. Our best model achieves accuracy, precision, and area under the curve of 72.5%, 81.3% and 0.788, respectively.

Resumen. El trastorno del espectro autista es un trastorno del neurodesarrollo caracterizado por déficits en la comunicación e interacción social, actividades e intereses restringidos, y patrones de comportamiento repetitivos. El diagnóstico actual del trastorno del espectro autista es altamente subjetivo y puede conducir a imprecisiones, ya que se basa en observaciones puramente conductuales. Además, debido a la complejidad de los síntomas de la enfermedad, un diagnóstico adecuado puede tomar tiempo. Sin embargo, la detección temprana y precisa del trastorno del espectro autista es esencial para implementar tratamientos que mejoren la condición y calidad de vida del paciente. Por esta razón, la combinación de técnicas de aprendizaje automático y neuroimagen se ha convertido en un candidato prometedor para reducir la subjetividad y mejorar el proceso de diagnóstico. Específicamente, las imágenes de resonancia magnética funcional en estado de reposo son de especial interés ya que permiten el estudio de posibles anomalías en la conectividad funcional del cerebro asociadas al autismo. Así, en nuestro trabajo proponemos un marco de clasificación para el trastorno del espectro autista basado en máquinas de soporte vectorial y descomposición wavelet discreta multinivel. Para ello, utilizamos 175 secuencias de las imágenes de resonancia magnética funcional en estado de reposo del conjunto de datos Autism Brain Imaging Data Exchange. A partir de estas imágenes, extraemos series temporales de regiones de interés definidas por un atlas cerebral. En la siguiente etapa, estas series temporales se analizan en diferentes bandas de frecuencia mediante descomposición wavelet discreta multinivel y las subseries resultantes se utilizan para construir matrices de conectividad funcional. Por último, las características extraídas de dichas matrices sirven de entrada al clasificador máquinas de soporte vectorial. Los resultados de una validación cruzada de 5 folds muestran que el uso de descomposición wavelet discreta multinivel en el análisis de señales proporciona una mejora en el rendimiento del clasificador. Nuestro mejor modelo alcanza una exactitud, precisión y área bajo la curva del 72,5%, 81,3% y 0,788, respectivamente.

Improving the breast ultrasound image resolution using generative adversarial network

Mejora de resolución en imágenes de ultrasonido de seno usando redes adversarias generativas

A Ramirez¹, O M Reyes¹, S A Abreo¹, J C Solano¹, and E Vega¹

¹ Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

E-mail: edward.vega@correo.uis.edu.co

Abstract. For women with high risk of breast cancer, the American Cancer Society recommends a yearly breast screening using mammography or magnetic resonance, usually starting at 30 years old. However, breast cancer detection of young women using mammography is difficult for women with dense breast. In general, magnetic resonance can be used to confirm a diagnostic in young women, but this technique is highly costly. Breast ultrasound imaging is also a technique of low cost that is especially helpful in women with dense breast tissue. It is also a very safe technique because it does not expose a person to ionizing radiation. The major issue of the breast ultrasound imaging is the resolution of the images compared to the mammograms or magnetic resonance images. In this work, we propose the use of generative adversarial network-neural networks to improve the resolution of breast ultrasound. The generative adversarial network will be trained with a database having more than 3000 images of low-resolution ultrasound and its equivalent high-resolution ultrasound. The high-resolution ultrasound images are obtained from magnetic resonance images, where the tissues that are present in the images are identified and then converted to the ultrasound equivalent. The generative adversarial network-neural networks will be validated with around 1000 low-resolution ultrasound images.

Resumen. Para mujeres con alto riesgo de cáncer de seno, la Sociedad Americana contra el Cáncer aconseja la realización de una resonancia magnética y una mamografía cada año, por lo general a partir de los 30 años. En general, existen varios factores que afectan el proceso de detección temprana de cáncer, como por ejemplo la alta densidad relativa del seno que dificulta la detección temprana en pruebas como la mamografía. Por lo general, la resonancia magnética es el método que se usa principalmente para confirmar un diagnóstico, pero en la mayoría de los casos es de difícil acceso debido a su alto costo; además de que suele presentar falsos positivos. También es posible usar imágenes de ultrasonido, el cual es un método menos costoso y más seguro debido a que no se expone al paciente a radiación ionizante. El principal problema es que el ultrasonido genera imágenes de baja resolución comparadas con las imágenes obtenidas por mamografía o por resonancia. Por esta razón, se propone el uso de redes neuronales adversarias generativas para mejorar la resolución de las imágenes de ultrasonido, a partir del entrenamiento de la red con una base de datos de más de 3000 imágenes de ultrasonido de baja resolución con su correspondiente imagen de alta resolución. La imagen de ultrasonido de alta resolución se obtiene a partir de la identificación de tejidos observados en la imagen de resonancia magnética. La validación de la red se realizará con aproximadamente 1000 imágenes de ultrasonido de baja resolución.

Mammographic Image Analysis

Region of interest classifier in mammographic images using logistic regression

Clasificador de regiones de interés en imágenes mamográficas usando regresión logística

N Cabeza¹, and M A Bravo¹

¹ Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

E-mail: maria2182344@correo.uis.edu.co

Abstract. The early detection of breast cancer is important for providing opportune treatment and improve the possibilities of survival of the patient. For this reason, screening techniques are implemented, such as full-field digital mammography, allowing the radiologist to give a more precise diagnosis. Recently, machine learning has shown great potential for computer-aided diagnosis. It has been shown that these methodologies reduce the incidence of false positives since they are more accurate in the classification of the regions of interest. In this work, we propose a model for the classification of lesions in mammograms based on logistic regression where the predictor variables are features extracted by the software Openbreast. For the implementation of the classifier, we use a public dataset named INbreast which contains 410 images and includes cases of women with both breasts affected and different lesions such as masses, calcifications, asymmetries, and distortions. It also contains labels and annotations made by radiologists where regions of interest were previously selected. For training and testing the performance of the classifier, different regions of interest were selected and cropped for obtaining two subsets of 106 images each one, the first containing normal images and the other abnormal images. After this, texture and shape features of the regions are extracted using the Openbreast software. Texture features include different methods such as gray-level co-occurrence matrix, gray-level run-length matrix, gray-level histogram analysis, and gray-level sharpness measurement. Additionally, the shape features were extracted based on mathematical descriptors of the region such as area, concavity, circularity, and perimeter. In total, 44 features were extracted, corresponding to 34 and 10 texture and shape features, respectively. The proposed method was validated using 5-folds cross-validation. Performance was measured in terms of classification accuracy and are under the ROC curve, obtaining 73.1% and 0.78, respectively. In order to improve the results, further work on the exploration of extraction and selection of features is warranted.

Resumen. La detección temprana del cáncer de seno es importante para proporcionar un tratamiento oportuno y así, mejorar las posibilidades de supervivencia de la paciente; en este aspecto, se implementan técnicas de cribado, tales como la mamografía digital de campo completo, permitiéndole al radiólogo proporcionar un diagnóstico más preciso. En este trabajo, se propone un modelo para la clasificación de lesiones en mamografías basado en regresión logística, donde las variables predictoras son características extraídas por el software Openbreast. Para la implementación del clasificador se usó una base de datos pública llamada INbreast, la cual contiene 410 imágenes e incluye casos de mujeres con ambos senos afectados y diferentes lesiones, tales como masas, calcificaciones, asimetrías y distorsiones. Esta también contiene etiquetas y anotaciones hechas por radiólogos, donde las regiones de interés fueron seleccionadas previamente. Para entrenar y evaluar el desempeño del clasificador, se seleccionaron diferentes regiones de interés y se recortaron de modo que se obtuvieran dos subconjuntos de 106 imágenes cada uno, el primero contiene imágenes normales y el otro imágenes anormales. Después de esto, se extraen características de textura y forma usando el software Openbreast. Para la extracción de características de textura se emplearon métodos como son la matriz de coocurrencia de nivel de gris, matriz de longitud de ejecución de nivel de gris, análisis de histograma de nivel de gris y medida de nitidez de nivel de gris. Adicionalmente, las características de forma se extrajeron a partir de descriptores matemáticos de la región, tales como área, concavidad, circularidad y perímetro. En total, se extrajeron 44 características, de las cuales 34 corresponden a textura y las 10 restantes a características de forma. El método propuesto fue validado usando validación cruzada de 5 folds. El desempeño fue medido en términos de precisión de clasificación y área bajo la curva ROC, obteniéndose 73,1% y 0,78, respectivamente. Para mejorar los resultados se requiere seguir trabajando en la exploración de maneras para la extracción y selección de características.



Effect of field cancerization on breast texture features: an in silico study

Efecto del campo carcinogénico en los patrones de textura mamarios: un estudio in silico

A N Hernández Durán¹, S Pertuz¹, and D A Miranda¹

¹ Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

E-mail: dalemir@uis.edu.co

Abstract. Texture features extracted from medical images have been used extensively for diagnosis and risk assessment of diseases through a practice called radiomics. Radiomics applied to breast cancer risk assessment using mammography has shown remarkable performance, however, the explanation to this remains unknown. One hypothesis points at the concept of field cancerization effect as the possible explanation to it. This effect has been studied at the molecular and optical levels, and it has been found that it produces alterations of the biochemical and optical properties of the tissues. Based on the hypothesis of field cancerization being the working principle of radiomics for breast cancer risk assessment, we performed an in silico experiment to test the effect of modifying the breast optical properties on the texture features extracted from mammograms. Our experiment started by introducing different levels of non-localized scattering centers in a cohort of 60 voxelized breast phantoms; from these phantoms, digital mammography was simulated, and the final mammographic images were used for the extraction of texture features. We assessed the impact of the tissue properties modification on the texture features using t-test, Wilcoxon signed-rank test, Kolmogorov-Smirnov test and an equivalence test. Our experiments showed that, when the non-localized scattering centers add up to 7.9% of the total breast volume, several of the texture features studied show statistically significant differences ($p < 0.05$). These results indicate that changes in the properties of small, non-localized volumes of breast tissue can have a non-negligible impact on the texture features of mammograms, which supports the hypothesis of the field cancerization effect being the working principle of radiomics for breast cancer risk assessment.

Resumen. Las características de textura extraídas de imágenes médicas se han utilizado ampliamente para el diagnóstico y la evaluación de riesgos de enfermedades a través de una práctica llamada radiómics. Aplicar radiómics a la evaluación del riesgo de cáncer de mama usando mamografía ha demostrado un rendimiento notable, sin embargo, la explicación de esto sigue siendo desconocida. Una hipótesis apunta al concepto de Efecto de Campo Carcinogénico como la posible explicación. Este efecto ha sido estudiado a nivel molecular y óptico, y se ha encontrado que produce alteraciones de las propiedades bioquímicas y ópticas de los tejidos. Basándonos en la hipótesis de que el Efecto de Campo Carcinogénico es el principio de funcionamiento de radiómics para la evaluación del riesgo de cáncer de mama, realizamos un experimento in silico para probar el efecto de modificar las propiedades ópticas de la mama en las características de textura extraídas de las mamografías. Nuestro experimento comenzó introduciendo diferentes niveles de centros dispersivos no localizados en una cohorte de 60 phantoms de mama voxelizados; a partir de estos phantoms, se simuló mamografía digital, y las imágenes mamográficas finales se utilizaron para la extracción de características de textura. Evaluamos el impacto de la modificación de las propiedades del tejido en las características de la textura utilizando t-test, Wilcoxon signed-rank test, test de Kolmogorov-Smirnov y un test de equivalencia. Nuestros experimentos mostraron que, cuando los centros dispersivos no localizados suman el 7,9% del volumen total de la pechuga, varias de las características de textura estudiadas muestran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Estos resultados indican que los cambios en las propiedades de pequeños volúmenes no localizados de tejido mamario pueden tener un impacto que no es despreciable en las características de textura de las mamografías, lo que respalda la hipótesis de que el Efecto de Campo Carcinogénico es el principio de funcionamiento de radiómics para la evaluación de riesgo de cáncer de mama.



Transfer learning in data-limited scenarios for breast cancer risk assessment

Transfer learning en escenarios con datos limitados para la evaluación del riesgo de cáncer de mama

G Africano¹

¹ Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

E-mail: gersonf098@gmail.com

Abstract. Worldwide, breast cancer is the leading cause of cancer death among women. Mammography is the leading screening image modality for early breast cancer detection, which has shown to reduce mortality rates. However, there is still plenty room for improvement where accurate risk assessment has the potential to improve early detection by allowing the creation of personalized screening recommendations. In the last few years, AI systems have shown promise in identifying women with a high risk of developing breast cancer based on screening mammography exams. However, the development of AI systems requires the collection of large, annotated datasets, which are costly and time-consuming to obtain. The access to a suitable dataset for AI development is one of the main limitations in the validation of the promise of the systems. In order to speed up the validation, it is imperative to evaluate alternative ways to develop AI systems with smaller datasets. In the literature, the transfer learning technique has been used to reduce the amount of data and improve the performance. Transfer learning broadly comprises two parts: first, pretraining the system in a large readily available dataset (source). Second, the pre-trained system is adjusted and re-trained in the target dataset. There is evidence suggesting that the impact of transfer learning depends on the similarity of the source and target datasets. However, transfer learning has been mainly evaluated in conditions where the source and the target dataset are entirely different, which hampers the impact of reducing the size of the target dataset. In this work, we developed an AI system for breast cancer risk assessment in a data-limited scenario. For this purpose, we use transfer learning from a source dataset similar to the target dataset. The target dataset corresponds to a case-control study with 286 women. 143 screening exams of women diagnosed with breast cancer (cases) and 143 screenings from healthy women (controls). We matched cases and controls by mammographic system, screening year, and age. For transfer learning, we select a baseline system pre-trained over mammography images for breast cancer detection. The system was adjusted and retrained using our dataset for risk assessment. To assess the performance of the developed system, we use the area under the ROC curve (AUC) with 95% confidence interval (CI). For validation, we compare the developed system with state-of-the-art automatic systems for breast cancer risk assessment, such as breast density, OpenBreast, and Mirai. We used Delong's test to assess statistically significant differences. The developed system yielded an AUC of 0.55 (95% CI 0.48-0.62). The evaluated state-of-the-art systems AUCs of 0.48 (0.41-0.55), 0.59 (0.52-0.65), and 0.60 (0.54-0.67) for breast density, OpenBreast, and Mirai, respectively. There was no statistically significant difference between the developed system and the state-of-the-art systems. Notice that, despite of the small dataset used for developing the AI system, we obtain similar performance to state-of-the-art systems, validating the potential of the considered strategy in scenarios where the collection/access to large datasets is challenging.

Resumen. El cáncer de mama es la principal causa de muerte por cáncer entre mujeres, en todo el mundo. La mamografía es la principal modalidad de imagen de cribado para la detección temprana del cáncer de mama, la cual ha demostrado reducir las tasas de mortalidad. Sin embargo, aún hay bastante margen de mejora, donde la evaluación precisa del riesgo tiene el potencial de mejorar la detección temprana al permitir la creación de recomendaciones de cribado personalizadas. En los últimos años, los sistemas de IA se han mostrado prometedores para identificar mujeres con un alto riesgo de desarrollar cáncer de mama a partir de las mamografías de cribado. Sin embargo, el desarrollo de sistemas de IA requiere la recopilación de grandes conjuntos de datos anotados, cuya obtención es costosa y requiere mucho tiempo. El acceso a un conjunto de datos adecuados para el desarrollo de la IA es una de las principales limitaciones en la validación de la promesa de los sistemas. Para acelerar la validación, es imprescindible evaluar formas alternativas de desarrollar sistemas de IA con conjuntos de datos más pequeños. En la literatura, se ha utilizado la técnica de transfer learning para reducir la cantidad de datos y mejorar el rendimiento. Brevemente transfer learning consta de dos partes: en primer lugar, el preentrenamiento del sistema en un gran conjunto de datos de fácil acceso (fuente). En segundo lugar, el sistema



preentrenado se ajusta y reentrena en el conjunto de datos objetivo. Hay evidencia científica que sugiere que el impacto del transfer learning depende de la similitud de los conjuntos de datos de fuente y de destino. Sin embargo, el transfer learning se ha evaluado principalmente en condiciones donde el conjunto de datos de fuente y el de destino son muy diferentes, lo que limita el impacto en la reducción del tamaño del conjunto de datos de destino. En este trabajo, desarrollamos un sistema de IA para la evaluación del riesgo de cáncer de mama en un escenario con datos limitados. Para ello, utilizamos transfer learning a partir de un conjunto de datos fuente similar al conjunto de datos objetivo. El conjunto de datos objetivo corresponde a un estudio de casos y controles con 246 mujeres, 143 exámenes de detección de mujeres diagnosticadas de cáncer de mama (casos) y 143 exámenes de detección de mujeres sanas (controles). Emparejamos los casos y los controles por: sistema mamográfico, año de cribado y edad. Para transfer learning, seleccionamos un sistema de referencia preentrenado sobre imágenes mamográficas para la detección del cáncer de mama. El sistema fue ajustado y reentrenado utilizando nuestro conjunto de datos para la evaluación del riesgo. Para evaluar el rendimiento del sistema desarrollado, utilizamos el área bajo la curva ROC (AUC) con un intervalo de confianza (IC) del 95%. Para la validación, comparamos el sistema desarrollado con sistemas automáticos del estado del arte para la evaluación del riesgo de cáncer de mama, como la densidad mamaria, OpenBreast y Mirai. Utilizamos la prueba de DeLong para evaluar las diferencias estadísticamente significativas. El sistema desarrollado logró un AUC de 0,55 (IC del 95%: 0,48-0,62). Los sistemas del estado del arte AUCs de 0,48 (0,41-0,55), 0,59 (0,52-0,65) y 0,60 (0,54-0,67) para la densidad mamaria, OpenBreast y Mirai, respectivamente. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre el sistema desarrollado y los sistemas del estado del arte. Cabe destacar que, a pesar del pequeño conjunto de datos utilizado para el desarrollo del sistema de IA, el desempeño fue similar al de los sistemas del estado del arte, lo cual valida el potencial de la estrategia considerada en escenarios en los que la recopilación/acceso a grandes conjuntos de datos es un reto.

Innovative Technologies for Medical Applications

Universidad
Industrial de
Santander



CPS
RESEARCH GROUP



CIMBIOS

1st IMA

