

TÍTULO:

APPLICATIONS OF DEEP LEARNING ON CARDIAC MRI: DESIGN APPROACHES FOR A COMPUTER AIDED DIAGNOSIS

Resumen en castellano:

Las enfermedades cardiovasculares son una de las causas más predominantes de muerte y comorbilidad en los países desarrollados, por ello se han realizado grandes inversiones en las últimas décadas para producir herramientas de diagnóstico y aplicaciones de tratamiento de enfermedades cardíacas de alta calidad. Una de las mejores herramientas de diagnóstico para caracterizar el corazón ha sido la imagen por resonancia magnética (IRM) gracias a sus capacidades de alta resolución tanto en la dimensión espacial como temporal, lo que permite generar imágenes dinámicas del corazón para un diagnóstico preciso. Para obtener un diagnóstico preciso y rápido, se necesita un cálculo fiable de biomarcadores basados en imágenes a través de software de procesamiento de imágenes. Hoy en día la mayoría de las herramientas empleadas se basan en sistemas semiautomáticos de Diagnóstico Asistido por Computador (CAD) que requieren que el experto clínico interactúe con él, consumiendo un tiempo valioso de los profesionales cuyo objetivo debería ser únicamente interpretar los resultados. Un cambio de paradigma está comenzando a entrar en el sector médico donde los sistemas CAD completamente automáticos no requieren ningún tipo de interacción con el usuario. Estos sistemas están diseñados para calcular los biomarcadores necesarios para un diagnóstico correcto sin afectar el flujo de trabajo natural del médico y pueden iniciar sus cálculos en el momento en que se guarda una imagen en el sistema de archivo informático del hospital.

Los sistemas CAD automáticos, aunque se consideran uno de los grandes avances en el mundo de la radiología, son extremadamente difíciles de desarrollar y dependen de tecnologías basadas en inteligencia artificial (IA) para alcanzar estándares médicos. En este contexto, el aprendizaje profundo (DL) ha surgido en la última década como la tecnología más exitosa para abordar este problema. Más específicamente, las redes neuronales convolucionales (CNN) han sido una de las técnicas más exitosas y estudiadas para el análisis de imágenes, incluidas las imágenes médicas. En este trabajo describimos las principales aplicaciones de CNN para sistemas CAD completamente automáticos para ayudar en la rutina de diagnóstico clínico mediante resonancia magnética cardíaca. El trabajo cubre los puntos principales a tener en cuenta para desarrollar tales sistemas y presenta diferentes resultados de alto impacto dentro del uso de CNN para resonancia magnética cardíaca, separados en tres proyectos diferentes que cubren su aplicación en la rutina clínica de diagnóstico.

El primer proyecto implica el problema de la segmentación automática de las principales regiones cardíacas dentro de las imágenes de RM. Presentamos un nuevo tipo de arquitectura CNN llamada PSPU-net y comparamos sus resultados con la clásica y exitosa arquitectura 3D U-net. Ambos modelos logran resultados de segmentación de alta calidad, pero la PSPU-net supera sistemáticamente al modelo clásico en todos los contextos y tejidos específicos. Los resultados demuestran que el nuevo modelo PSPU-net propuesto puede generalizar mejor las

segmentaciones predichas y con menos recursos computacionales, lo que lo convierte en un excelente candidato para su uso en imágenes de resonancia magnética cardíaca para producir segmentaciones casi instantáneas, permitiendo un cálculo rápido de los biomarcadores de interés a partir de las mismas.

El segundo proyecto trata el problema del cálculo automático de biomarcadores a partir de las imágenes sin emplear ningún paso de segmentación intermedio. Enfocamos el objetivo en el volumen del ventrículo izquierdo en la imagen de resonancia magnética cardíaca. Este tipo de enfoque tiene la ventaja de que no requiere etiquetas costosas de obtener como las segmentaciones manuales, sin embargo, no se puede integrar de manera efectiva en un entorno radiológico debido a la falta de información contextual espacial producida, lo que significa que el experto no sabrá de donde viene la predicción ofrecida por el sistema. Abordamos este problema conocido como explicabilidad utilizando un enfoque de aprendizaje débilmente supervisado que permite entrenar una red neuronal solo con los valores de biomarcadores específicos, y le permite producir una máscara de segmentación que muestra directamente la región que el modelo usó para predecir el biomarcador. El enfoque considerado aborda dos problemas diferentes pero relacionados, produciendo un modelo explicable en el que se puede confiar en el escenario clínico y, además, proporciona una forma de entrenar modelos para la segmentación cuando solo está disponible el volumen de la región objetivo, lo que podría ampliar el número de bancos de imágenes que podrían ser explotados. El modelo entrenado fue capaz de estimar los volúmenes del ventrículo izquierdo con errores bajos y con una excelente correlación. Además, las máscaras de segmentación que generaba siempre se ubicaban con precisión en la región correcta con una buena calidad general ofreciendo una alta capacidad de explicabilidad.

El último proyecto aborda la detección de los dos eventos temporales en el ciclo cardíaco dentro de la secuencia de resonancia magnética cardíaca, la telesístole (fin de la sístole) y la telediástole (fin de la diástole). Detectar estos eventos es un prerequisite previo a cualquier tipo de segmentación o estimación de biomarcadores, ya que solo se pueden utilizar estos dos puntos temporales para los cálculos relevantes de la función de contractilidad cardíaca. En este proyecto se emplea un esquema de red neuronal convolucional para tratar el análisis espacial y temporal de la secuencia. Los componentes clave del modelo desarrollado son el uso de convoluciones dilatadas para el análisis temporal y el uso de la función de pérdida de solapamiento de Dice para el entrenamiento, la cual ha tenido mucho éxito para tareas de segmentación, pero no se ha empleado para la detección de eventos en datos temporales. Se entrenó el modelo con esta función de pérdida y se compararon los resultados con el mismo modelo entrenado con la clásica función de entropía cruzada. Los resultados mostraron que la función de pérdida de Dice es notablemente superior para la tarea. El modelo final obtuvo resultados muy precisos al detectar tanto el final de sístole como el final de diástole, lo que lo hace adecuado para su uso en contextos clínicos.

El trabajo completo presentado describe enfoques novedosos y de alto impacto para aplicar CNN al análisis de resonancia magnética cardíaca. El trabajo proporciona varios hallazgos clave, permitiendo varias formas de integración de esta reciente y creciente tecnología en sistemas CAD completamente automáticos que pueden producir resultados altamente precisos, rápidos y confiables. Los resultados descritos mejorarán e impactarán positivamente el flujo de trabajo de los expertos clínicos en un futuro próximo.