

Abstract

Modern society is confronted with an unprecedented volume of data generated by diverse sensors embedded in smartphones, automobiles, and medical devices. Transforming these massive data streams into practical or meaningful information demands substantial expertise and manual effort. This habilitation thesis presents the author's research and development activities spanning more than two decades, unified by the overarching objective of automating meaningful information extraction from heterogeneous sensor data.

The research originates from the motivation to eliminate repetitive manual feature engineering and has evolved across three principal domains. In medical image analysis (Chapters 2–3), techniques for automatic algorithm construction based on genetic programming were proposed, covering organ segmentation from PET images, lesion extraction from CT images, and unsupervised Alzheimer's disease diagnosis using Self-Organizing Maps was also developed. Subsequent industrial research addressed clinically deployable technologies, including retinal layer segmentation from OCT images, CT-based texture analysis for virtual biopsy of Non-Alcoholic Steatohepatitis, and deep learning-based classification of pulmonary nodules. In the automotive domain (Chapter 4), deep neural network-based occupant detection using millimeter-wave radar was presented, and an event camera-based pedestrian detection framework was developed, achieving competitive performance with substantially reduced power consumption by using the sparsity of Spiking Neural Networks. Following these research and development activities, Chapter 5 outlines future research directions, with particular focus on multimodal data processing leveraging the asynchronous processing characteristics of Spiking Neural Networks — another advantage from their well-known energy efficiency.

This thesis presents my R&D trajectory from handcrafted feature design through deep learning to neuromorphic computing, and delineates my vision toward versatile, energy-efficient AI systems adaptable to diverse sensor modalities and real-world environments.

Keywords:

medical image analysis, genetic programming, image segmentation, deep learning, event camera, millimeter-wave radar, spiking neural network (SNN), neuromorphic computing, multi-modal data

Résumé (in French)

La société moderne est confrontée à un volume sans précédent de données générées par divers capteurs intégrés aux smartphones, aux véhicules et aux appareils médicaux. La transformation de ces flux de données massifs en informations exploitables ou pertinentes exige une expertise considérable et un travail manuel important. Cette thèse d'habilitation présente les activités de recherche et de développement menées par l'auteur depuis plus de deux décennies, unifiées par l'objectif global d'automatiser l'extraction d'informations pertinentes à partir de données de capteurs hétérogènes.

La recherche trouve son origine dans la volonté d'éliminer l'ingénierie manuelle répétitive des caractéristiques et s'est développée dans trois domaines principaux. En analyse d'images médicales (chapitres 2-3), des techniques de construction automatique d'algorithmes basées sur la programmation génétique ont été proposées, couvrant la segmentation d'organes à partir d'images TEP, l'extraction de lésions à partir d'images TDM, et un diagnostic non supervisé de la maladie d'Alzheimer utilisant des cartes auto-organisées a également été développé. Les recherches industrielles qui ont suivi ont porté sur des technologies cliniquement déployables, notamment la segmentation des couches rétiniennes à partir d'images OCT, l'analyse de texture basée sur la tomodensitométrie pour la biopsie virtuelle de la stéatohépatite non alcoolique, et la classification des nodules pulmonaires basée sur l'apprentissage profond. Dans le domaine automobile (chapitre 4), une détection des occupants basée sur des réseaux neuronaux profonds et utilisant un radar à ondes millimétriques a été présentée, et un cadre de détection des piétons basé sur une caméra événementielle a été développé, atteignant des performances compétitives avec une consommation d'énergie considérablement réduite grâce à la parcimonie des réseaux neuronaux à impulsions. À la suite de ces activités de recherche et développement, le chapitre 5 présente les orientations futures de la recherche, en mettant particulièrement l'accent sur le traitement des données multimodales tirant parti des caractéristiques de traitement asynchrone des réseaux neuronaux à impulsions — un autre avantage découlant de leur efficacité énergétique bien connue.

Cette thèse présente mon parcours en R&D, de la conception artisanale de caractéristiques au calcul neuromorphique en passant par l'apprentissage profond, et expose ma vision de systèmes d'IA polyvalents et économes en énergie, adaptables à diverses modalités de capteurs et à des environnements réels.

Mots-clés

analyse d'images médicales, programmation génétique, segmentation d'images, apprentissage profond, caméra événementielle, radar à ondes millimétriques, réseau neuronal à impulsions (SNN), calcul neuromorphique, données multimodales