

Advances in Spatio -Temporal Image Processing with Scientific Applications

Teză de abilitare

Remus BRAD

2015

Rezumat

Această teză de abilitare reprezintă un sumar al celor mai importante realizări ale mele în domeniul procesării de imagini, de la data susținerii tezei de doctorat. Cu toate că cercetările mele în acest vast și actual domeniu datează de acum peste douăzeci de ani, această sinteză a activității din ultimii doisprezece ani se întinde pe un spectru destul de larg. Unii ar putea spune că frământările înspre a găsi o nișă în peisajul destul de populat al procesării de imagini m-a împins înspre o astfel de risipire. Adevărul este că am trecut prin tot lanțul de procesare, pentru care „nu este nicio rețetă” (*“there is no recipe”*), precum spunea acum mai bine de douăzeci de ani, într-una din primele cărți studiate, o pionieră a domeniului, Linda Shapiro. Astfel, generosul titlu reunește peregrinările mele, chiar dacă nu cronologice, ce pornesc de la elemente de pre-procesare precum filtrarea de zgomot și detecția de contur, și ajung la recunoașterea de forme și procesarea secvențelor de imagini pentru extragerea fluxului optic.

Primul capitol cuprinde o motivație a implicării mele în acest domeniu, precum și calea pe care am urmat-o în a sintetiza prezenta lucrare. Totodată, am încercat să punctez elementele de forță ale activității și cercetărilor mele și să rezum modestele mele contribuții la dezvoltarea domeniului. Impactul cercetărilor a fost reliefat în indici scientometrici și în prestigiul publicațiilor ce citează lucrările publicate. Ceea ce merită a fi amintit este faptul că peste 70% din articolele publicate au ca și co-autor un student la una din formele de învățământ. Și asta pentru că am crezut în ei, am muncit alături de ei și am avut împreună satisfacția muncii împlinite.

Așa cum am arătat anterior, elementele de filtrare, pe cât de banale ca denumire, pe atât de importante ca rol în aplicațiile practice, au constituit una din preocupările asupra cărora am revenit mereu. Prima parte a capitolului al doilea prezintă o metodă care a făcut obiectul unui articol aflat în recenzie la un jurnal important, respectiv o filtrare de zgomot realizată cu lanțuri Markov. Nemaexistând referințe bibliografice la acest subiect, cred, împreună cu co-autorul, în valoarea acestei metode novatoare. În același context, alături de un student doctorand în Inginerie Industrială din Pakistan, am propus doi algoritmi de detecție de contur ce s-au dovedit a fi eficienți în implementările realizate pe sisteme integrate. Alături de un alt student străin la ULBS, am realizat un studiu asupra parametrului optim de filtrare Gaussiană, care a fost publicat în revista *Sensors*, având un IF de 1.97.

Teza de doctorat a constituit un moment de referință în viața mea de cadru didactic universitar, ca de altfel pentru majoritatea cercetătorilor. O bună parte din rezultatele obținute le-am publicat și prezentat în cadrul capitolului trei. Preocupările mele în procesarea imaginilor satelit s-au concretizat într-o metodă de accentuare diferențiată a conturilor, o tehnică de segmentare adaptată imaginilor în infraroșu și un algoritm de extragere a fluxului optic din secvențe de imagini meteorologice. Chiar dacă acestea nu sunt printre cele mai des citate lucrări ale mele, prestigiul jurnalelor în care au fost citate confirmă valoarea lor.

Capitolul patru este dedicat aplicațiilor de detecție și segmentare a texturii. Textura poate fi considerată un descriptor foarte important, alături de luminanță și culoare, și, de aceea, detecția acesteia poate oferi multe avantaje. O bună parte din lucrări se centrează pe acordul filtrelor Gabor la frecvența texturii și pe recunoașterea zonelor în care acestea se dezacordează, având drept scop regăsirea defectelor din imaginile care conțin suprafețe țesute sau tricotate. Se prezintă, astfel, posibilitatea implementării unui sistem de control al calității produselor textile, precum și o aplicație în regăsirea și clasificarea defectelor pe materiale utilizate în producerea airbag-urilor. Aceasta din urmă a constituit obiectul unui contract cu o companie multinațională care a realizat un studiu - pilot asupra cauzelor producerii defectelor de țesătură pe războaiele cu jet de apă. Posibilitatea segmentării texturii a fost explorată și prin metode evoluționiste, de genul algoritmilor genetici, prezentate cu această ocazie.

În cadrul celui de-al cincilea capitol, au fost grupate câteva aplicații ce tratează pixelii imaginii în contextul apartenenței lor la regiuni ce reprezintă obiecte din lumea reală. Astfel, adaptarea transformatei Hough pentru detecția elipselor a fost testată în contextul unui robot autonom. Deoarece în proiecție, mai toate cercurile apar ca elipse, aplicațiile metodei sunt vaste. Recunoașterea tehnicii prezentate vine nu numai de la cele 34 de citări, dar și din faptul că a fost implementată și comparată recent într-un studiu, alături de alte metode consacrate. Extragerea liniilor de elevație din hărțile scanate și reconstruirea peisajului 3D constituie o bună parte din cuprinsul acestui capitol. Într-un cadru mai laborios, algoritmul realizează segmentări de culoare, reconstrucție de curbe și interpolare de pixeli pentru a permite vederi tridimensionale ale hărților. Capitolul se încheie cu un studiu asupra tehnicilor actuale de inpainting, precum și cu propunerea de îmbunătățire a două metode consacrate, cu certe aplicații în restaurarea imaginilor sau cinematografie.

Planurile de viitor pe direcția cercetării au fost sintetizate în capitolul șase, care prezintă starea actuală dintr-un domeniu de cercetare al imagisticii medicale. Datorită potențialului existent la nivelul Spitalului Clinic de Urgență și al celui Clinic de Pediatrie, a implicării mele într-un grant POS-CCE la nivelul acestor instituții, precum și a colaborărilor multidisciplinare existente între Facultatea de Medicină și cea de Inginerie a ULBS, am prezentat actualele mele preocupări în detecția și cuantificarea plăcilor stenotice moi pe arterele cordului.

Bolile cardiovasculare constituie cele mai importante cauze ale mortalității în U.E. și în lume. Datorită depunerii de grăsime pe pereții interiori ai vaselor de sânge, se formează ateromatoamele, plăci care îngustează fluxul sangvin și care, prin evoluție, pot duce la obstrucție (stenoză). Detectarea timpurie a existenței acestor formațiuni, localizarea și cuantificarea gradului de stenoză, constituie o preocupare crescândă în lumea medicală, deoarece măsurile profilactice sau intervențiile decise în urma investigațiilor duc în mod cert la salvarea de vieți. Bolile coronariene sunt cauzate, la rândul lor, de stenozele apărute pe arborele coronarian, al vaselor care alimentează cu sânge inima, și contribuie cu un procent semnificativ la indicatorul statistic mai sus amintit. Cu toate că în domeniul procesării de imagine, segmentarea și deci clasificarea pixelilor în regiuni omogene constituie o operație uzuală, elaborarea unui algoritm care să trateze segmentarea imaginilor AngioCT se află încă în stadiul de cercetare. Nu există încă o aplicație comercială care să identifice plăcile moi, deși, în urma observațiilor noastre, la injectarea unei substanțe de contrast, acestea sunt puse în evidență față de plăcile calcificate sau sânge. În consecință, îmi propun realizarea de cercetări care să identifice și să cuantifice plăcile moi și, împreună cu medicii cardiologi, să realizăm un scor de risc al plăcilor moi în urma unui proces statistic și de corelație. Avantajele impunerii unei noi metode de scoring constau în posibilitatea de diagnosticare precoce și facilă a afecțiunilor cardiovasculare și, implicit, o creștere a calității vieții pentru un procent semnificativ din populație.

Advances in Spatio -Temporal Image Processing with Scientific Applications

Habilitation Thesis

Remus BRAD

2015

Summary

This thesis habilitation is a summary of the most important achievements in the field of image processing, from the date of my PhD thesis defense. Although my research in this vast and actual domain dates back over twenty years, the synthesis of my activity in the last twelve years covers a fairly wide spectrum. Some might say that I struggled toward finding a niche in the crowded landscape of image processing. The truth is that I went through all the processing chain for which "*there is no recipe*", as stated more than twenty years ago by a pioneer in the field, Linda Shapiro. The generous title has covered all my wanderings, although not chronological, starting with pre-processing methods such as noise filtering and edge detection till shapes recognition and image sequences processing for the extraction of optical flow.

The first chapter provides a motivation for my involvement in this field, and the path followed in this work. Also, I tried to point out the most valuable achievements and summarize my research and my modest contribution to the development of Image Processing. The impact of research was highlighted by scientometric indicators and by the prestige of the publications citing the published work. What worth mentioning is the fact that over 70% of published papers have as co-author a former student.

As noted above, filtering as far as trivial as name, important as role in practical applications, have been one of my concerns that I have many times returned. Chapter two begins with a new start, the subject of an under-review article in an important journal; a noise filtering with Markov chains. Even if there are no references to this subject, I along with co-author, value this innovative method. In the same context, together with a PhD student in Industrial Engineering from Pakistan, we proposed two edge detection algorithms that have proven to be effective in embedded systems implementations. Along with another foreign student at ULBS, we conducted a study on the optimal Gaussian filter parameter, published in the *Sensors* journal with an IF of 1.97.

The PhD thesis was a milestone in my professional life, as well as for most researchers. That time preoccupations have been continued and the results have been published and presented in Chapter three. My interests in satellite image processing developed in a differential edge enhancement method, a technique for infrared image segmentation and an adapted block-matching algorithm for optical flow detection from satellite image sequences. Even if they are not among the most cited papers, the importance of the citing journals confirms their value.

Chapter four is dedicated to the applications in texture detection and segmentation. This can be considered a very important descriptor together with luminance and color, and therefore, its detection can provide many advantages. A lot of my work focuses on Gabor filters accordance

with texture frequency in the aim of retrieving the defect of woven or knitted textiles. It shown the possibility of implementing a quality control system of textile products, and an application in defects recognition and classification of materials used in airbag manufacturing. The latter was the subject of a grant with a multi-national company, conducting to a pilot study on defects causes of water jet looms. The texture segmentation was also explored by evolutionary methods, such as genetic algorithms.

In the fifth chapter, we present several applications treating image pixels in the context of regions representing real-world objects. The adaptation of the Hough transform for detecting ellipses was tested in the context of an autonomous robot. Since all the circles from the real world appear as ellipses in their image projection, our method applications are quite large. The wide recognition of the proposed technique comes not only from more than 34 citations, but also that it was recently implemented and compared in a study along with other recognized methods. Extracting elevation lines from scanned maps and 3D landscape reconstruction is also part of this chapter. Being more laborious, the algorithm performs color segmentation, line reconstruction and pixels interpolation in the aim of three-dimensional views of the scanned map. The chapter concludes with a study on current inpainting techniques and an improvement of two accepted methods, with certain applications in image restoration.

The plans for future research were summarized in Chapter six, which shows the current state of the art in a field of medical imaging. Due to the existing potential in the Clinical and Pediatrics Hospital, my involvement in an EU POS-CCE grant, as well as the existing multidisciplinary collaboration between the Faculty of Medicine and Engineering at ULBS, I have presented my current interests in the detection and quantification of cardiac arteries stenotic soft plaques.

Cardiovascular diseases are the leading cause of mortality in E.U. and worldwide. Atheromatoma form on the inner surface of the vessel, because of fatty cell accumulation, and these obstruct blood flow, leading to vessel stenosis. Because prophylaxis and intervention save lives, early detection of these atheromatous plaques, their localization and quantification is of growing interest in the medical world. Coronary atherosclerotic diseases are caused by stenosis of the coronary arteries, which supply the heart muscle with blood, and they contribute in significant percent to the statistic index above mentioned. Although in image processing, the pixel segmentation and thus the classification into homogenous regions is a usual operation, development of an algorithm which investigates the segmentation of ACT images is still under research. These days, a commercial application for soft plaque identification is unavailable, though we had observed that, after the injection of contrast at ACT, the soft plaque appears in contrast to calcified plaques or blood. Thus, our aim in this multidisciplinary research is to develop a method for the identification and quantification of soft plaques and to obtain and develop a risk score using statistical tools. The advantages of a new scoring method are the possibility of early diagnosis of cardiovascular disease, and increasing quality of life for a significant percentage of the population.