

Aplicații data mining în telecomunicații

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnică Timișoara

în domeniul de doctorat Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale

autor ing. Georgiana-Alina Magu

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Alexandru Isar

Martie 2022

Datorită creșterii fără precedent a volumelor de date vehiculate în telecomunicații, înregistrată la începutul mileniului 3, tehnologia Data Mining (DM) este utilizată tot mai frecvent în aplicații complexe bazate pe prelucrarea imaginilor și a altor semnale provenite de la senzori (de exemplu RADAR). Obiectivul tezei de față este de a diversifica algoritmi de implementare a pașilor standardului Data Mining, propunând noi metode de prelucrare a semnalelor și imaginilor bazate pe funcții wavelet. Teza conține un număr de opt contribuții originale validate științific prin publicarea în volumele unor conferințe internaționale sau ale unor reviste de prestigiu.

Lucrarea de față își propune abordarea unei teme de actualitate și să aducă contribuții la îmbunătățirea performanțelor unor metode de prelucrare a semnalelor RADAR și a imaginilor (în special de tip Synthetic Aperture Radar-SAR) folosind metode de optimizare convexă și funcții wavelet. Aceste metode au fost create pentru a fi folosite la concepția unor sisteme DM care să faciliteze supravegherea unor regiuni de pe glob și studiul unor fenomene care se desfășoară la scară planetară sau să ofere asistență șoferilor de autovehicule sau să ia decizii în cazul autovehiculelor fără șofer.

Capitolul 1 reprezintă sinteza lucrării de doctorat și prezintă conținutul acesteia.

În capitolul 2 se face o trecere în revistă a teoriei funcțiilor wavelet în prelucrarea imaginilor, introducându-se principalele familii de funcții wavelet și diferite tipuri de transformare wavelet: continuă, discretă, staționară, complexă cu arbore dublu, analitică (hiperanalitică, Hyperanalytic Wavelet Transform-HWT) sau cu pachete de funcții wavelet. **Se formulează o primă contribuție a tezei în legătură cu interpretarea transformării cu pachete de funcții wavelet hiperanalitice ca o analiză în componente principale a imaginii. Această interpretare originală a fost publicată într-o lucrare de conferință indexată ISI: G. A. Magu, M. Kovaci, „Images’ Principal Component Analysis using Hyperanalytic Wavelet Packets”, 2018 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC), 1-4.**

Această implementare a analizei în componente principale a imaginilor permite identificarea orientărilor principale conținute în acele imagini și poate fi folosită în faza de pregătire a datelor pentru reducerea dimensionalității în proiecte DM.

De asemenea, în capitolul 2 se prezintă principalele aplicații ale funcțiilor wavelet în prelucrarea imaginilor: înlăturarea zgomotului (denoising), compresia, îmbunătățirea contrastului, detecția de muchii și evaluarea gradului de netezime a unor suprafețe din imagine cu ajutorul valorilor locale ale exponentului Hurst.

Cea de-a doua contribuție a tezei se referă la o nouă metodă de înlăturare a zgomotului aditiv alb Gaussian din imaginile naturale respectiv a zgomotului de tip speckle din imaginile SAR, bazată pe HWT.

Ideea acestei metode de denoising este cooperarea a două filtre neliniare: o variantă îmbunătățită de filtru bishrink și filtrul Adaptive Soft Thresholding Filter-ASTF; în domeniul HWT. Filtrul ASTF este rezultatul aplicării metodei de optimizare convexă denumită

regularizare LASSO. Rezultatele simulărilor efectuate dovedesc superioritatea acestei metode de denoising în comparație cu alte metode de înlăturare a zgomotului bazate pe funcții wavelet sau nu. O direcție viitoare de cercetare ar putea fi înlocuirea HWT cu HWPT, deoarece HWPT reprezintă un dicționar mai potrivit decât HWT pentru înlăturarea zgomotului din imagini având un număr superior de direcții preferențiale. Metoda propusă ar putea fi utilizată în viitor ca metodă de pre-procesare în aplicații de prelucrarea imaginilor insuficient de robuste la zgomot. Și această contribuție poate fi utilizată în faza de pregătire a datelor a unui proiect DM la curățarea acestora.

Cea de-a treia contribuție originală a tezei constă într-o metodă robustă (la zgomotul aditiv alb Gaussian respectiv la zgomotul de tip speckle) de detecție a muchiilor din imaginile naturale respectiv din imaginile SAR care constă în aplicarea detectorului Canny după metoda de înlăturare a zgomotului care constituie cea de-a doua contribuție a tezei. Aceste două metode de prelucrarea a imaginilor și rezultatele de simulare aferente au fost publicate într-un articol dintr-o revistă indexată ISI Q1:

A. Isar, C. Nafornita, G. Magu, „Hyperanalytic Wavelet-Based Robust Edge Detection”, Remote Sensing 13 (15), 2888.

Rezultatele de detecție a muchiilor din imagini naturale perturbate de zgomot alb Gaussian respectiv din imagini de radio-locăție reale sunt remarcabile. Un rezultat important din punct de vedere practic este stabilirea numărului maxim de vederi al imaginilor de radio-locăție pentru care utilizarea sistemului de denoising înaintea detectorului Canny este încă necesară, la opt. Metoda propusă de detecție a muchiilor este mai adecvată în cazul imaginilor de radio-locăție decât metodele de tipul Machine Learning-ML, fiind mult mai rapidă. Și această contribuție a tezei poate fi utilizată în faza de modelare a unui proiect DM.

Cea de-a patra contribuție a tezei se referă la evaluarea gradului de netezime a unor suprafețe din imagini. Deoarece gradul de netezime al unei suprafețe într-o anumită regiune poate fi evaluat prin estimarea exponentului Hurst local și deoarece estimarea exponentului Hurst local poate fi realizată cu ajutorul funcțiilor wavelet, cea de a patra contribuție a tezei constă într-o metodă de generare a unor texturi cu exponent Hurst specificat. Această metodă de generare poate fi folosită pentru calibrarea metodelor de evaluare a gradului de rugozitate a unei regiuni. Validarea științifică a acestei metode a fost făcută prin publicarea unui articol într-o revistă indexată BDI:

P. Gajitzki, A. Isar, G. Magu, „A New Algorithm for Fractional Brownian Motion Processes Generation”, Acta Technica Napocensis 59 (1), 6-9.

Metoda de generare a proceselor aleatoare de tipul mișcare Browniană fracționară cu exponent Hurst specificat bazată pe funcții wavelet este complet justificată din punct de vedere teoretic iar rezultatele de simulare obținute au o calitate superioară rezultatelor obținute folosind funcția Matlab wfbm. Metoda de estimare a exponentului Hurst local bazată pe funcții wavelet permite evaluarea rugozității unor regiuni din imagine și implicit detecția valurilor dintr-o imagine de ocean, putând fi utilizată în faza de evaluare a unui proiect DM.

Capitolul 3 al tezei de față este destinat studiului metodelor de prelucrare a semnalelor generate de senzorii RADAR. Se prezintă metodele de detecție a țintelor cu rată de alarmă falsă constantă (Constant False Alarm Rate-CFAR) și se studiază metodele de urmărire a țintelor.

Cea de-a cincea contribuție a tezei constă într-o metodă de detecție a țintelor cu raport semnal pe zgomot foarte mic bazată pe funcții wavelet. Validarea științifică a acestei contribuții a fost făcută prin publicarea la o conferință internațională indexată ISI a lucrării:

A. Isar, C. Nafornita, A. Macaveiu, G. Magu, „Wavelet Based Adaptive Detection of Automotive Radar Single Target with Low SNR”, 2020 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC), 1-6.

Senzorii RADAR care echipează automobilele moderne folosesc pentru detecția țintelor hărțile

range-Doppler generate pentru fiecare ciclu de măsurare. Pozițiile instantanee ale țintelor pot fi estimate pe baza distanțelor instantanee între RADAR și ținte (range) prin detectarea maximelor locale din harta range-Doppler. Pentru a păstra constantă rata de alarme false (Constant False Alarm Rate-CFAR) este necesar ca țintele să aibă un raport semnal pe zgomot suficient de mare, în așa fel încât puterile semnalelor provenite de la ținte să fie mai mari decât puterea semnalelor perturbatoare (zgomot termic și clutter). De aceea, detecția unei ținte se realizează prin compararea valorii maximului local corespunzător cu un prag a cărui valoare se alege proporțională cu puterea semnalelor perturbatoare. Această contribuție a tezei presupune aplicarea unei operații de denoising imaginii hărții range-Doppler anterior detecției, care are ca efect creșterea artificială a raportului semnal pe zgomot al țintelor. S-a ales ca metodă de denoising asocierea dintre transformarea DWT bidimensională și filtrul hard thresholding.

Cea de-a șasea, de-a șaptea și de-a opta contribuție a tezei constau în metode de reducere a incertitudinii metodelor de urmărire a țintelor bazate pe potrivirea polinomială implicită, explicită respectiv bazate pe funcții wavelet, care au fost validate științific prin publicarea a două lucrări la conferințe internaționale indexate ISI:

G. Magu, R. Lucaciu, A. Isar, „Polynomial Based Kalman Filter Result Fitting to Data”, 2020, 43rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing, Milano, Italy

și

G. Magu, R. Lucaciu, „Multiple Radar Targets Tracking and Trajectories Fitting”, 2020 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC), 11-14, precum și a unui articol într-o revistă indexată ISI Q2:

G. Magu, R. Lucaciu, A. Isar, „Improving the Targets’ Trajectories Estimated by an Automotive RADAR Sensor Using Polynomial Fitting”, Applied Sciences, 11 (1), 361.

Pentru urmărirea țintelor RADAR se recurge de obicei la asocierea a două tipuri de algoritmi dintre care unul realizează asocierea datelor generate de senzorul RADAR cu țintele (se folosește de obicei algoritmul maghiar) iar celălalt trasează traiectoria ținte (se folosește de obicei algoritmul de filtrare Kalman pentru fiecare țintă). Datorită: erorilor de estimare a poziției și vitezei relative a țintelor, zgomotului termic al receptorului și clutter-ului, datelor lipsă, erorilor de modelare a cinematicii țintelor pentru filtrarea Kalman; urmărirea țintelor este afectată de o anumită incertitudine, existând diferențe între traiectoriile adevărate ale țintelor și traiectoriile obținute la ieșirile filtrelor Kalman. Această incertitudine poate fi redusă pe baza conjecturii că traiectoriile țintelor sunt polinomiale în plan. Au fost concepute trei metode de reducere a incertitudinii tehnicilor de urmărire a țintelor. Prima metodă de potrivire polinomială a traiectoriei ținte se numește implicită și cea de-a doua metodă se numește explicită. A treia metodă de potrivire polinomială a traiectoriei ținte propusă în teză este bazată pe funcții wavelet.

În faza de pregătire a datelor din cadrul unui proiect DM de asistare a unui șofer pe durata în care automobilul pe care îl conduce este depășit ar putea fi utilizată cea de a cincea contribuție a tezei pentru detecția primeia dintre țintele RADAR care sunt situate în spatele automobilului. În faza de modelare a proiectului DM, în urma detecției țintelor și urmăririi acestora (realizată prin cooperarea dintre algoritmul maghiar de asociere a datelor și filtrele Kalman corespunzătoare fiecărei ținte) ar putea fi utilizată una dintre cele trei metode de potrivire polinomială a traiectoriei care reprezintă ultimele trei contribuții ale tezei. În sfârșit în faza de evaluare a acestui proiect DM ar putea fi detectat momentul în care distanța dintre automobilul pe care este montat senzorul RADAR și primul automobil din spatele acestuia scade sub distanța corespunzătoare intrării în unghiul mort și poate fi declanșată alarmarea șoferului.

Capitolul 4 este destinat concluziilor și prezentării contribuțiilor științifice ale autoarei tezei.