

Contribuții la îmbunătățirea adaptivității sistemelor de senzori radar în domeniul automotive

Teză de doctorat - Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea Politehnica Timișoara
în domeniul Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii
Informaționale

autor ing. Corneliu-Alexandru Bobaru
conducător științific Prof. univ. dr. ing. Corina Alda Naforniță

Iulie 2024

Teza de doctorat are ca scop dezvoltarea unor metode și tehnici pentru compensarea automată a erorilor de montaj și a celor induse de bara de protecție a vehiculelor pentru senzorii radar utilizați în industria automotive. Aceste lucruri sunt esențiale pentru îmbunătățirea acurateței și fiabilității sistemelor de asistență la conducere și a funcțiilor de conducere autonomă.

Senzorii radar sunt critici pentru vehiculele moderne, oferind informații vitale despre mediul înconjurător. Montarea incorectă și distorsiunile unghiulare provocate de bara de protecție pot duce la erori semnificative în măsurători, afectând performanța sistemelor de siguranță active.

Teza propune soluții inovatoare pentru problemele critice întâmpinate de industria automotive în utilizarea senzorilor radar. Metodele de compensare automată dezvoltate pot deveni standarde în proiectarea și implementarea sistemelor radar pentru vehicule, contribuind astfel la progresul tehnologic și la îmbunătățirea siguranței rutiere.

Funcționalitățile radar necesită o acuratețe foarte bună în azimut și elevație, însă aceste atribute sunt mult mai ușor afectate de către mediul înconjurător decât restul atributelor, deoarece radarul automotive este montat în spatele unei bare

de protecție (bumper). Bara de protecție cauzează erori de măsurare unghiulară, datorită proprietăților fizice ale acesteia: formă, material, culoare, grosime.

Aceste erori de măsurare vor duce la degradarea performanțelor sistemului, ducând la distorsiuni unghiulare locale.

Un alt tip de distorsiuni unghiulare (globale) sunt cauzate de erorile de montare în azimut și elevație ale sensorului în fabrică, sau în cazul unor accidente ușoare ce duc la nealinierea senzorilor radar față de unghiul de montare.

Autocalibrarea unghiulară a senzorilor este o temă foarte importantă din domeniul automotive, datorită impactului negativ asupra funcționalităților în absența acesteia. Există metode de calibrare offline, ce se desfășoară în fabrica de producție a clientului automotive sau în service (End Of Line Calibration).

Acestea implică amplasarea vehiculului într-un set-up bine determinat împreună cu diverse obiecte de referință, ale căror atribute precum poziția și unghiurile de azimut și elevație sunt bine cunoscute, respectând toleranțe stricte. Aceste metode sunt dezavantajoase atât din punct de vedere financiar, cât și din punct de vedere al timpului necesar pentru efectuarea calibrării unui vehicul.

Alte metode de calibrare a unghiurilor de montaj în azimut și elevație se pot obține tot într-un mediu controlat dar cu mai puține restricții, utilizând date de la alte sisteme automotive, precum Lidar și camere. Avantajul principal al acestor metode este asigurarea unei calibrări inițiale al unghiului de montare în elevație, în cazul în care radarul nu suportă măsurarea unghiului de elevație. Totuși, un mare dezavantaj al acestor metode este faptul că acestea asigură doar o calibrare inițială a unghiurilor de montaj, neasigurând o compensare pe termen lung.

Metodele de compensare online a erorii de montare în azimut pot fi bazate pe o referință formată dintr-un obiect static paralel (marginile străzilor sau autostrăzilor) cu direcția de condus a vehiculului sau bazate pe fuziunea datelor de la mai mulți senzori.

Pentru compensarea distorsiunilor unghiulare locale în azimut, există diferite metode offline bazate fie pe simulări ce includ cunoașterea proprietăților bumperului, fie pe metode ce necesită recepționarea unui semnal de la o țintă cu un unghi cunoscut.

Pentru radarele automotive, aceste tipuri de calibrare offline prezintă dificultăți foarte mari, din cauza necesității de calibrare a senzorilor după montarea acestora în spatele bumperului cât și costul aferent alocării unui spațiu special pentru setup. Aceste tipuri de corecții trebuie să fie în mod ideal automate, considerând atât uzura radarului cât și uzura și schimbarea proprietăților bumperului odată cu trecerea timpului. Există metode automate de compensare a offseturilor locale pentru radare MIMO (Multiple-Input and Multiple Output), însă acestea necesită un setup special și prezintă dificultăți în adaptarea pentru radare SIMO (Single-Input and Multiple Output), precum și o metodă fezabilă pentru radare SIMO, ce generează o tabelă de corecții efectuând o regresie a funcției de eroare de deplasare (bias). Un dezavantaj al acestei soluții este încorporarea metodei Lanțului Markov Monte Carlo (MCMC) în efectuarea regresiei funcției de eroare, datorită puterii de calcul mari.

Contribuțiile originale ale acestei teze de doctorat includ introducerea de metode noi pentru evaluarea erorilor de montaj în azimut și elevație, compensarea efectelor barei de protecție asupra măsurătorii în azimut cât și detectarea de distorsiuni unghiulare în azimut cauzate de fenomene meteorologice, pentru sistemele radar îmbarcate pe automobile.

Metoda de compensare a offseturilor unghiulare în azimut, cauzate de influența integrării sensorului radar în vehicul oferă un proces de calibrare automat reglabil, adaptabil pe orice vehicul, ce poate compensa cu acuratețe offseturi și

care poate genera statistici ce caracterizează și evaluează curba de corecție obținută.

O metodă de compensare a erorii de montaj în azimut când erorile cauzate de integrarea sensorului în vehicul nu au fost compensate propune împărțirea unui interval unghiular larg în mai mult sectoare și calculul erorii de montaj pentru fiecare sector în parte, astfel încât pe baza unor procese statistice este ales cel mai bun sector în scopul de a oferi un proces de calibrare automat reglabil, adaptabil pe orice vehicul, ce poate compensa cu acuratețe offseturi și care poate genera statistici ce caracterizează și evaluează unghiurile de corecție obținute pentru fiecare sector.

Pentru calculul erorii de montaj în elevație, sunt prezentate trei metode distincte ca și contribuții originale. O metodă se folosește de structuri staționare de referință din metal sau beton, precum marginea străzii, structuri ce posedă o înălțime aproximativ constantă odată cu creșterea distanței longitudinale față de vehicul. Celelalte două metode alternative celei anterioare pentru calibrarea online nesupravegheată, în contextul alinierii verticale a unui radar automotive sunt bazate atât pe calculul unei înălțimi de referință din țintele staționare la distanță mică, extrapolând înălțimea de referință pentru țintele aflate la distanță mai mare, cât și pe utilizarea țintelor de tip ground clutter, având ca referință distanța sensorului față de pământ.

A fost propusă și o metodă de calcul simultan a valorilor de compensare pentru erorile de montaj în azimut și elevație, fiind bazată pe utilizarea de ținte staționare folosind tupluri de câte trei ținte pentru a rezolva ecuații cu două necunoscute, acestea fiind chiar corecțiile de montare în azimut și elevație. Aceste valori sunt approximate cu o metodă Levenberg-Marquardt modificată în care am propus utilizarea unui pas de actualizare bazat pe metoda RMSProp, dar păstrând influența parametrului λ care poate face trecerea de la un algoritm de tip coborâre a gradientului și metoda Gauss-Newton. Acesta împreună cu aplicarea regiunilor de încredere oferă o convergență rapidă de o acuratețe mare.

În final, a fost propusă o metodă pentru îmbunătățirea adaptivității senzorilor radar în contextul detecției de distorsiuni unghiulare cauzate de adunarea de zăpadă sau gheață pe bara de protecție a vehiculului, marcând o ultimă contribuție personală. Detectorul este bazat pe o versiune modificată a metodei de compensarea a erorilor locale utilizând viteza vehiculului și unghiul azimut măsurat. În scopul detecției de distorsiuni unghiulare, detectorul calculează diverse proprietăți și caracteristici ale tabelului de corecție la finalul fiecărui ciclu de plauzibilitate.

Metodele propuse au o relevanță practică deosebită, fiind deja utilizate parțial pentru sistemele radar de ultime generații, dezvoltate și produse de către compania Forvia-Hella, îmbarcate în autoturismele de ultimă generație ale multor mari producători auto.

Această cercetare aduce o contribuție semnificativă în domeniul tehnologiilor radar în automotive, oferind un cadru solid pentru viitoare dezvoltări și inovații în acest sector.