

# Streszczenie

Radary odgrywają kluczową rolę w zaawansowanych systemach wspomagania kierowcy oraz jazdy autonomicznej, zapewniając informacje o otoczeniu pojazdu. Ich zaletą jest możliwość jednoczesnego pomiaru odległości oraz prędkości radialnej obiektów w polu widzenia. Wraz z rosnącym zaawansowaniem funkcjonalności oferowanych przez systemy samochodowe, rosną wymagania stawiane sensorom, które dostarczają do nich informacji wejściowych. Wiele czujników wprowadzanych na rynek oferuje wysoką precyzję pomiarów, jednak ich współdziałanie w ramach współpracującej sieci sensorów wymaga precyzyjnej informacji o ich położeniu i orientacji, która pozwoli na sprowadzenie pomiarów do wspólnego układu współrzędnych.

Pomimo starannego montażu czujników na samochodzie podczas instalacji elementów na linii produkcyjnej zawsze pojawiają się odchylenia w orientacji sensora spowodowane niedokładnościami procesu montażu. Aby zminimalizować takie błędy, konieczne jest stosowanie kalibracji sensorów w fabryce, nazywanej również statyczną kalibracją lub adiustacją na końcu linii produkcyjnej, która pozwala nie tylko na korektę małych odchyżeń, które są nieuniknione, ale także na zasygnalizowanie operatorom linii, że pojazd nie spełnia wymagań jakościowych.

Stosowane w ramach linii produkcyjnej czy warsztatu samochodowego metody nie są w stanie zapewnić właściwej orientacji czujników po otrzymaniu samochodu przez użytkownika. W przypadku złożonych systemów wspomagania kierowcy, które mogą być wrażliwe na błędy pomiarowe radaru, konieczne jest zapewnienie stałego monitorowania stanu sensora, tak aby reagować na zmiany orientacji spowodowane kolizjami lub powolnym starzeniem się uchwyty montażowego radaru. Zadanie to realizowane jest przez algorytmy auto-kalibracji radaru, nazywane również algorytmami dynamicznej adiustacji.

Większość rozwiązań obecnych w literaturze skupia się na adiustacji horyzontalnego kąta przekrzywienia radaru od wartości oczekiwanej, za pomocą algorytmów kalibracji statycznej, dynamicznej i post-factum. Niektóre metody umożliwiają również ocenę wertykalnego kąta przekrzywienia, który może prowadzić do niepoprawnej oceny przejezdności obiektów, ograniczenia zasięgu radaru i negatywnego wpływu na jakość detekcji radarowych. Jednakże, żadne rozwiązanie w literaturze nie pozwala na uwzględnienie przemieszczenia we wszystkich trzech osiach.

Pierwszą z innowacji wprowadzonych w tej rozprawie jest udoskonalenie algorytmu statycznej kalibracji radaru, bazującego na znanym w literaturze celu kalibracyjnym – stalowej płycie. Ze względu na jej właściwości estymacja kąta orientacji radaru może być dokonana poprzez umiejscowienie stalowej płyty przed radarem i precyzyjne pochylanie płyty w kierunku ziemi i sufitu. Zebrane w ten sposób pomiary mocy odbitej fali radarowej w funkcji kąta wychylenia stalowej płyty mogą być aproksymowane wielomianem drugiego stopnia. Maksimum znalezionego wielomianu odpowiada kątowi wychylenia płyty, w którym

fala radarowa odbiła się pod kątem prostym do radaru. Pozwala to na wyznaczenie przekrzywienia radaru w elewacji z dużą precyzją. Horyzontalne przekrzywienie radaru sprawia trudności, ponieważ pomiar azymutu często zawiera wartości odstające, których nie da się skorelować z innymi danymi radarowymi. Z tego względu algorytm został wzbogacony o metodę iteracyjną, jaką jest średnia odporna. Udoskonalony w ten sposób proces kalibracji został opatentowany i wdrożony do produkcji.

Kolejną metodą zaproponowaną przez autora jest udoskonalenie dynamicznej kalibracji, która w dotychczas stosowanych metodach obejmowała przekrzywienia w osiach horyzontalnej i wertykalnej. Zaproponowano model matematyczny, który w przypadku radarów zdolnych do pomiaru kąta elewacji, pozwala na uwzględnienie trzeciej osi obrotu radaru podczas korekcji detekcji, a także model, pozwalający na algorytmiczne estymowanie błędów orientacji radaru w trzech osiach. Przedstawiono różne optymalizatory, które mogą być wykorzystane do iteracyjnego wyznaczenia poszukiwanych kątów przekrzywienia, a następnie przetestowano je na danych syntetycznych i porównano przy użyciu zaproponowanych wskaźników jakości. Zaproponowany algorytm został również zgłoszony w formie patentu.

Trzecią opracowaną metodą jest trójosiowa kalibracja post-factum, zaprojektowana do estymacji trójosiowego błędu orientacji radaru, nawet gdy radar nie posiada możliwości pomiaru elewacji. Metoda opiera się na generowaniu losowych kątów elewacji z zaprojektowaną dystrybucją w detekcjach, które przy mocy obliczeniowej i pamięci wystarczającej na użycie kilkuset detekcji w trakcie każdej iteracji, są w stanie posłużyć do trójosiowej estymacji. Do tego celu wykorzystano nieliniową metodę całkowitych najmniejszych kwadratów. Kąty estymowanego przekrzywienia, wyznaczone przez nią, posłużyły do korekcji rzeczywistych detekcji z otwartego zbioru danych RadarScenes. Wyniki wskaźników jakości potwierdziły, że trójosiowa korekta detekcji wyznaczonymi kątami redukuje błąd średniokwadratowy rzeczywistych detekcji.