Tytuł: Methods of analysis and synthesis for radar signals using chirp rate estimation in the time-frequency domain

Tytuł w języku polskim: Metody analizy i syntezy sygnałów radarowych z wykorzystaniem estymatorów przyspieszenia fazy chwilowej w dziedzinie czas-częstotliwość

**Streszczenie**

Systemy radarowe zyskują coraz większą popularność nie tylko w aplikacjach militarnych, ale również cywilnych. Dzięki swoim zaletom, takim jak zdolność do penetracji niektórych struktur dielektrycznych, wysoka rozdzielczość, czy możliwość pracy zarówno w ciągu dnia, jak i nocy oraz w niemal każdych warunkach atmosferycznych, systemy radarowe stanowią cenne uzupełnienie systemów optycznych, laserowych i ultradźwiękowych. Wraz z rozwojem technologii obserwuje się rosnące zapotrzebowanie na szybkie i efektywne algorytmy cyfrowego przetwarzania sygnałów radiolokacyjnych, które jednocześnie w sposób adaptacyjny zmieniałyby swoje parametry pracy. Opracowanie i analiza takich algorytmów, wykonujących obliczenia w czasie rzeczywistym, przy zachowaniu wymaganej dokładności obliczeń, jest obiektem prac inżynierów i naukowców na całym świecie. Szczególną uwagę poświęca się przy tym systemom wojskowym, od których często zależy ludzkie życie.

Niniejsza rozprawa opisuje nowe metody analizy i syntezy sygnałów radarowych opracowane na potrzeby rozpoznania elektronicznego, walki elektronicznej oraz radiolokacji pasywnej. W rozprawie wykorzystano znane z literatury techniki estymacji przyspieszenia fazy chwilowej sygnałów w dziedzinie czas-częstotliwość i dostosowano je do zastosowań radarowych. Następnie, poprzez analizę ich ograniczeń, opracowano nowatorskie adaptacyjne algorytmy ukierunkowane na przetwarzanie sygnałów w systemach radiolokacyjnych. Efektywność zaproponowanych technik potwierdzono na drodze obszernych eksperymentów, zarówno symulacyjnych, jak i eksperymentów przeprowadzonych z wykorzystaniem danych pochodzących z rejestracji sygnałów rzeczywistych nadawanych przez radary. Szczególną uwagę poświęcono sygnałom impulsowym z liniową oraz nieliniową modulacją częstotliwości. Pokazano, że możliwa jest estymacja składowych fazy takich sygnałów. Zarejestrowane sygnały pochodzące z rzeczywistych systemów radiolokacyjnych posłużyły do weryfikacji poprawności opracowanych technik, co potwierdziło ich przydatność w systemach walki elektronicznej do analizy sygnałów o nieznanych parametrach. W pracy zaproponowano także nowe, nieznane dotąd w literaturze estymatory, rozszerzające możliwości znanych technik o zdolność do estymacji trzeciej pochodnej fazy sygnału w dziedzinie czas-częstotliwość. Ze względu na swoją uniwersalność zaproponowane w rozprawie metody mogą być z powodzeniem wykorzystane także w innych dziedzinach nauki i techniki tj. w analizie sygnałów biomedycznych, audio, oraz w hydroakustyce.

**Abstract**

Radar systems are gaining popularity, not only in military but also civilian applications. Radars are essential sensors which complement optical, laser, and ultrasonic systems due to the advantages they provide, such as the ability to penetrate some dielectric structures, their high resolution, and their ability to work both during the day and at night, and in almost all weather conditions. Along with the development of modern technology, there is a growing demand for fast and efficient algorithms that additionally allow simultaneous parameter adjustment to be carried out. The development of real-time algorithms while maintaining the accuracy of calculations is the subject of work of engineers and scientists worldwide. Special attention is paid to military systems, which are usually responsible for the security of people.

This dissertation describes novel methods of analysis and synthesis of radar signals for electronic reconnaissance, electronic warfare, and passive coherent location purposes. The techniques of instantaneous chirp rate estimation in the time-frequency domain known from the literature were used and then adopted to radar applications, and by analyzing their limitations, innovative adaptive signal processing algorithms were developed intended for radar systems. The efficiency of the techniques proposed was confirmed by extensive simulation experiments and using data originating from real-life radars. Particular attention was paid to pulse waveforms with linear and non-linear frequency modulation. The possibilities of estimating phase components of such signals are shown. The work also proposes new estimators, hitherto unknown in the literature, extending the possibilities of the known techniques with the ability to estimate the third-order derivative of the signal phase in the time-frequency domain. The recorded signals originating from real-life radar systems were processed for the sake of the verification of the correctness of the described techniques, which confirmed their usefulness in electronic warfare systems for the analysis of pulses with unknown parameters. However, the methods proposed in the dissertation can be successfully used in other fields of science due to their universality, such as biomedical or audio signal analysis, or hydro-acoustic.