

Tematy projektów mają charakter orientacyjny i mogą zostać doprecyzowane lub zmodyfikowane po uzgodnieniu zakresu prac z grupą. Istnieje również możliwość realizacji własnego tematu zaproponowanego przez studentów. Projekt powinien obejmować wykorzystanie metod probabilistycznych, statystycznych lub algorytmów uczenia maszynowego (lub połączenia ich) do rozwiązywania konkretnego problemu badawczego lub praktycznego. Istotnym elementem pracy jest część inżynierska, obejmująca analizę danych, implementację i weryfikację wybranych metod, przeprowadzenie badań symulacyjnych lub eksperymentów obliczeniowych oraz opracowanie narzędzi wspomagających przeprowadzoną analizę.

Proponowane tematy

1. Kurtogram oparty na odpornych estymatorach kurtozy jako narzędzie do identyfikacji pasma informacyjnego na podstawie niegaussowskich sygnałów drganiowych z maszyn.

Kurtogram jest klasyczną metodą stosowaną do identyfikacji pasm informacyjnych w sygnałach drganiowych pochodzących z maszyn. Jednak w jego tradycyjnym algorytmie wykorzystuje się klasyczny estymator kurtozy, który w przypadku sygnałów niegaussowskich reaguje przede wszystkim na pojedyncze, duże obserwacje (wartości odstające), a nie na cykliczne impulsy świadczące o uszkodzeniu lokalnym. W literaturze dla tego typu sygnałów proponuje się odporne estymatory kurtozy, które wykazują mniejszą wrażliwość na obserwacje odstające, dzięki czemu mogą stanowić skuteczniejsze wskaźniki uszkodzeń. W ramach projektu studenci dokonają przeglądu odpornych estymatorów kurtozy, a dla wybranych z nich opracują odporne wersje algorytmu kurtogramu. Efektywność proponowanego podejścia zostanie zweryfikowana na podstawie sygnałów symulowanych o różnym poziomie niegaussowości oraz dostępnych rzeczywistych sygnałów laboratoryjnych.

[1] klasyczny kurtogram:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0888327005002414>

2. Odporne mapy cykliczej koherencji spektralnej (cyclic spectral coherence, CSC) do identyfikacji komponentów cyklostacjonarnych w sygnałach.

Mapa CSC powstaje jako podwójna transformata Fouriera funkcji autokowariancji sygnału (ACVF). Tradycyjny estymator tej mapy bazuje na klasycznej mierze ACVF i jest powszechnie stosowany w analizie sygnałów cyklostacjonarnych. Standardowy estymator ACVF wykazuje jednak dużą wrażliwość na obecność wartości odstających, przez co w przypadku wystąpienia zakłóceń niegaussowskich mapa CSC ulega znacznemu zniekształceniu. W literaturze znane są odporne estymatory ACVF, które zmniejszają wpływ takich obserwacji, a ich wykorzystanie do estymacji CSC zostało już zapoczątkowane w pracy [1]. Co więcej, niedawno zaproponowano nowe algorytmy dla klasycznych map CSC, które można w naturalny sposób uogólnić na przypadek niegaussowski [2]. Celem projektu inżynierskiego jest rozszerzenie badań w tym obszarze poprzez opracowanie map CSC opartych na odpornych estymatorach ACVF. Głównie zadanie polega na zaproponowaniu efektywnych obliczeniowo algorytmów umożliwiających szybkie wyznaczanie map CSC dla sygnałów impulsowych, a następnie na zbadaniu ich skuteczności dla wybranych modeli cyklostacjonarnych o różnym poziomie niegaussowości.

[1] W. Żuławiński, J. Antoni, R. Zimroz, A. Wyłomańska: [Applications of robust statistics for cyclostationarity detection in non-Gaussian signals for local damage detection in bearings](#), Mechanical Systems and Signal Processing 214, 111367, 2024

[2] szybkie estymatory CSC

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352711026001901>

[3] klasyczny estymator CSC:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0888327006001816>

3. Efektywne indeksy zdrowia (health indices, HI) dla sygnałów gaussowskich i niegaussowskich oparte na metodach hybrydowych (łączy metody statystyczne oraz inteligentne).

Indeks zdrowia dla maszyny to statystyka wyznaczana dla poszczególnych segmentów sygnału (np. 1-sekundowych), której zmiana wartości świadczy o postępującej degradacji stanu technicznego. Klasycznymi przykładami takich wskaźników są kurtoza oraz wartość skuteczna (RMS), rosnące w momencie pojawienia się w sygnale drganiowym cyklicznych impulsów związanych z uszkodzeniem lokalnym. W systemach monitoringu stosuje się wiele tego typu statystyk. Część z nich sprawdza się w analizie sygnałów o szumie gaussowskim, inne zaś w przypadku sygnałów niegaussowskich. Ponieważ w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych precyzyjna ocena charakteru sygnału bywa utrudniona, poszukuje się uniwersalnych indeksów HI, efektywnych dla obu typów danych. Jednym z rozwiązań jest integracja informacji pochodzących z wielu statystyk HI z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego (ML) w celu utworzenia nowej, hybrydowej miary. Celem projektu inżynierskiego jest opracowanie takiego zagregowanego indeksu HI na podstawie zestawu różnorodnych statystyk oraz wybranego modelu ML. Istotnym elementem pracy będzie także próba interpretacji oraz wyjaśnienia zasady działania nowo utworzonej statystyki z wykorzystaniem metod wyjaśnialnej sztucznej inteligencji (XAI). Efektywność zaproponowanej metodologii zostanie zweryfikowana na podstawie sygnałów symulowanych oraz rzeczywistych danych benchmarkowych.

4. Metody odszumiania sygnałów cyklostacjonarnych na przykładzie wybranego modelu.

Sygnały cyklostacjonarne charakteryzują się okresową zmiennością wybranych parametrów statystycznych w czasie. Przykładem takiej cechy jest funkcja autokowariancji (ACVF) – sygnał spełniający ten warunek nazywany jest cyklostacjonarnym drugiego rzędu, a jego reprezentatywnym modelem jest PARMA (ang. *periodic ARMA*), czyli model ARMA o współczynnikach zmiennych okresowo. Procesy tego typu znajdują szerokie zastosowanie m.in. w diagnostyce technicznej, gdzie sygnały drganiowe pochodzące z uszkodzonych elementów maszyn wykazują właściwości okresowe. W praktyce sygnały te są często silnie zaszumione, co znacząco utrudnia detekcję i identyfikację uszkodzeń. Celem projektu jest przeprowadzenie przeglądu literatury w zakresie metod odszumiania sygnałów cyklostacjonarnych lub adaptacja wybranych algorytmów stosowanych dotychczas dla sygnałów stacjonarnych. Wyznaczone metody zostaną następnie zweryfikowane pod kątem skuteczności przy użyciu symulowanych modeli dla różnych poziomów oraz różnego charakteru zakłóceń szumowych.

5. Nowa metoda identyfikacji optymalnego parametru p w statystyce p -Greenwooda na potrzeby testowania rozkładu gaussowskiego w wybranych klasach rozkładów.

Statystyka Greenwooda, zaproponowana w 1946 roku, znalazła liczne zastosowania w analizie właściwości różnorodnych klas rozkładów, w tym w problemie weryfikacji hipotezy o gaussowskim charakterze danych w klasie rozkładów stabilnych. Najnowsze kierunki badań

skupiają się na uogólnieniu klasycznej postaci tej statystyki poprzez wprowadzenie uogólnionej potęgi p (w miejsce wykładnika równego 2). Celem projektu inżynierskiego jest zaproponowanie automatycznej metody identyfikacji optymalnej wartości parametru p , zapewniającej maksymalizację mocy testu normalności dla wybranych klas rozkładów alternatywnych. Szczególny akcent zostanie położony na analizę przypadków trudnych do odróżnienia, tj. gdy badany rozkład jest bliski rozkładowi normalnemu przy jednocześnie niewielkiej liczności próby danych. Opracowane podejście zostanie zweryfikowane na podstawie szerokiego zakresu symulacji komputerowych.

[1] K. Skowronek, M. Arendarczyk, R. Zimroz, A. Wyłomańska: [*Modified Greenwood statistic and its application for statistical testing*](#), Journal of Computational and Applied Mathematics 452, 116122, 2024

6. Segmentacja wielowymiarowych modeli szeregów czasowych zachowaniach - przegląd metod i analiza porównawcza.

Wiele rzeczywistych szeregów czasowych wykazuje charakter niejednorodny (niehomogeniczny). W konsekwencji ich dalsza analiza wymaga podziału sygnału na jednorodne odcinki, do których możliwe jest dopasowanie stacjonarnego modelu lub stacjonarnego rozkładu prawdopodobieństwa. Zagadnienie to dotyczy zarówno danych jednowymiarowych, jak i przestrzeni wielowymiarowych. W ramach projektu inżynierskiego studenci przeprowadzą przegląd literatury w zakresie istniejących metod segmentacji wielowymiarowych szeregów czasowych oraz przeanalizują ich efektywność dla wybranych klas rozkładów wielowymiarowych. Ponadto zadanie obejmuje pozyskanie rzeczywistych danych wielowymiarowych i zaprezentowanie działania wybranych algorytmów na przykładach praktycznych. Dodatkowym, wartościowym elementem pracy będzie propozycja autorskiej metody detekcji punktów zmiany (ang. *change-point detection*), pozwalającej na identyfikację zmian bez konieczności wcześniejszego definiowania, który parametr rozkładu wielowymiarowego ulega modyfikacji.

7. Identyfikacja obserwacji odstających dla modeli cyklostacjonatnych - propozycja metody i analiza efektywności na podstawie wybranego modelu.

Sygnały cyklostacjonarne odznaczają się okresową zmiennością wybranych parametrów statystycznych w czasie. Przykładem takiej cechy jest funkcja autokowariancji (ACVF) Proces spełniający ten warunek klasyfikowany jest jako cyklostacjonarny drugiego rzędu, a jego reprezentatywnym modelem jest PARMA (ang. *periodic ARMA*), czyli model ARMA o współczynnikach zmiennych okresowo. Procesy tego typu znajdują szerokie zastosowanie m.in. w diagnostyce technicznej, gdzie sygnały drganiowe pochodzące z uszkodzonych elementów maszyn wykazują właściwości okresowe. W praktycznych zastosowaniach dane często zawierają jednak wartości odstające (tzw. impulsy niegaussowskie), które znacząco utrudniają poprawną detekcję i analizę komponentu cyklostacjonarnego.

8. Automatyczna klasyfikacja różnych typów impulsowości w sygnałach z wykorzystaniem metod statystycznych i uczenia maszynowego

W wielu rzeczywistych sygnałach występują krótkotrwałe zdarzenia o wartościach znacząco odbiegających od typowego poziomu danych, określane jako impulsy. Sposób ich występowania może być jednak różny - impulsy mogą pojawiać się losowo lub regularnie w czasie, występować pojedynczo lub w skupiskach, a ich amplitudy mogą przyjmować wartości jednego lub obu znaków. Właściwości te definiują różne typy impulsowości i mogą być

związane z odmiennymi zjawiskami generującymi obserwowany sygnał. Przykładowo, regularnie powtarzające się impulsy mogą wskazywać na obecność komponentu cyklicznego, podczas gdy impulsy pojawiające się w przypadkowych momentach mogą mieć charakter losowy. Klasyczne charakterystyki statystyczne, takie jak kurtoza, skośność czy współczynnik szczytu, reagują na obecność impulsów, jednak pojedyncza statystyka nie zawsze pozwala określić ich charakter. Celem projektu inżynierskiego jest opracowanie metody automatycznej klasyfikacji wybranych typów impulsowości na podstawie charakterystyk sygnału oraz algorytmów uczenia maszynowego. W ramach projektu rozważone zostaną różne scenariusze impulsowości, związane np. z symetrią impulsów (jednego lub obu znaków), regularnością ich występowania (losowe, okresowe lub quasi-okresowe) oraz sposobem rozmieszczenia w czasie (impulsy pojedyncze lub występujące w skupiskach). Wybrane scenariusze zostaną odwzorowane za pomocą odpowiednich modeli symulacyjnych, a następnie przeanalizowane zostaną charakterystyki statystyczne i czasowe umożliwiające ich rozróżnienie. Na ich podstawie opracowany zostanie model klasyfikacyjny. Istotnym elementem pracy będzie analiza skuteczności klasyfikacji przy zmianie parametrów sygnału, takich jak amplituda i częstość występowania impulsów, poziom szumu czy długość obserwacji, oraz wskazanie przypadków, w których poszczególne typy impulsowości stają się trudne do rozróżnienia. Opracowane podejście zostanie zweryfikowane na podstawie badań symulacyjnych.

9. Wykrywanie momentu zmiany charakteru szumu w sygnałach impulsowych z wykorzystaniem klasycznych i odpornych charakterystyk statystycznych

Właściwości szumu występującego w rzeczywistych sygnałach mogą zmieniać się w czasie, np. przechodząc od charakteru gaussowskiego do niegaussowskiego. Wykrywanie takich zmian może być utrudnione przez obecność losowych impulsów, które wpływają na rozkład obserwowanego sygnału i mogą powodować znaczne zmiany klasycznych charakterystyk statystycznych. Szczególnie wrażliwe na pojedyncze obserwacje o dużych amplitudach są charakterystyki wykorzystujące wyższe momenty rozkładu, takie jak kurtoza. Alternatywę stanowią charakterystyki odporne, wykorzystujące m.in. medianę, kwantyle lub inne miary mniej wrażliwe na obserwacje ekstremalne. Celem projektu inżynierskiego jest porównanie klasycznych i odpornych charakterystyk statystycznych pod kątem ich przydatności do wykrywania zmian charakteru szumu w sygnałach zawierających losowe impulsy. Rozważone zostaną modele, w których w określonym momencie następuje zmiana rozkładu tła, np. przejście od szumu gaussowskiego do wybranego rodzaju szumu niegaussowskiego, podczas gdy losowe impulsy mogą występować zarówno przed, jak i po zmianie. Analizie mogą być poddane m.in. klasyczna kurtoza oraz jej wybrane odporne odpowiedniki, a także inne charakterystyki opisujące rozrzut, asymetrię lub ogonowość rozkładu. Możliwe będzie również wykorzystanie miar porównujących rozkłady danych w różnych fragmentach sygnału. Na podstawie wybranych charakterystyk opracowane zostaną proste procedury wykrywania i lokalizacji punktu zmiany. Rozważona może zostać zarówno analiza całego dostępnego sygnału, jak i detekcja prowadzona na bieżąco na podstawie kolejno napływających obserwacji. Skuteczność metod zostanie zbadana dla różnych rodzajów zmian rozkładu tła oraz różnych amplitud i częstości występowania impulsów. Istotnym elementem pracy będzie określenie, w jakich warunkach zastosowane metody pozwalają skutecznie odróżnić rzeczywistą zmianę właściwości tła.

10. Wykrywanie anomalii w szeregach czasowych z wykorzystaniem metod statystycznych i uczenia maszynowego

W rzeczywistych szeregach czasowych mogą występować obserwacje lub fragmenty danych, których zachowanie istotnie różni się od typowego przebiegu analizowanego procesu. Anomalie mogą mieć różny charakter - od pojedynczych nietypowych obserwacji, przez krótkotrwałe zmiany poziomu lub zmienności sygnału, aż po zaburzenia jego struktury czasowej, np. okresowości. Ich automatyczne wykrywanie jest istotnym problemem w analizie szeregów czasowych, ponieważ różne rodzaje anomalii mogą wymagać zastosowania odmiennych sposobów detekcji. Celem projektu inżynierskiego jest opracowanie i porównanie wybranych metod automatycznego wykrywania anomalii w szeregach czasowych. W ramach projektu rozważone zostaną różne rodzaje anomalii oraz szeregi czasowe o różnych właściwościach. Przeanalizowane zostaną klasyczne podejścia statystyczne, metody wykorzystujące podobieństwo lub charakterystyki fragmentów szeregu oraz wybrane algorytmy uczenia maszynowego. Istotnym elementem pracy będzie zbadanie, w jaki sposób skuteczność poszczególnych metod zależy od rodzaju anomalii, jej intensywności i czasu trwania, a także właściwości analizowanego szeregu oraz poziomu szumu. Opracowane podejścia zostaną zweryfikowane przede wszystkim w badaniach symulacyjnych, w których położenie i rodzaj anomalii są znane, co umożliwi ocenę skuteczności ich detekcji oraz częstości występowania fałszywych alarmów. W miarę dostępności przeprowadzona może zostać również analiza wybranych rzeczywistych szeregów czasowych.