

ABSTRAK

Perkembangan pesat sistem komunikasi nirkabel saat ini menuntut penggunaan spektrum frekuensi secara lebih efisien karena ketersediaan pita frekuensi berlisensi yang semakin terbatas. Dalam konteks ini, teknologi Radio Kognitif (CR) hadir sebagai solusi menjanjikan yang memungkinkan *Secondary User* (SU) memanfaatkan celah spektrum kosong secara oportunistik tanpa mengintervensi *Primary User* (PU). Namun, memastikan deteksi spektrum yang akurat menghadirkan tantangan yang signifikan, khususnya pada skenario lingkungan *Multi-PU* di mana sinyal PU yang lemah rentan mengalami penyamaran (*masking*) oleh dominasi daya dari sinyal tetangga yang lebih kuat, serta adanya ketidakpastian variasi derau di sisi penerima.

Penelitian ini mengusulkan pendekatan penginderaan spektrum kooperatif yang mengintegrasikan metode estimasi *Power Spectral Density* (PSD) dengan algoritma *Machine Learning* (ML) untuk mengatasi keterbatasan metode deteksi energi berbasis ambang batas (*threshold*). Penelitian ini mengevaluasi kinerja tiga metode estimasi PSD, yaitu *Simple periodogram*, *Averaged Periodogram* dan *Welch Periodogram*, yang dikombinasi dengan dua algoritma klasifikasi: *Decision Tree* (DT) dan *Support Vector Machine* (SVM). Proses pengujian difokuskan pada ketahanan sistem dalam mendeteksi sinyal lemah yang tersamarkan diantara sinyal kuat pada berbagai kondisi kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Welch periodogram* memiliki kinerja yang paling bagus dibandingkan metode lain (*simple periodogram* dan *averaged periodogram*) karena kemampuannya dalam mereduksi variasi spektral dan meminimalkan kebocoran spektral (*spectral leakage*) melalui teknik *windowing*. Evaluasi pada skenario pengujian dengan variasi derau ekstrem ($55mW$) membuktikan bahwa integrasi *Welch periodogram* dengan algoritma SVM mampu menghasilkan sistem deteksi yang sangat *robust*. Kombinasi kedua metode ini berhasil mempertahankan akurasi rata-rata hingga 99.80% pada kondisi derau tertinggi, dengan tingkat probabilitas deteksi (P_D) tetap stabil di atas 95%, jauh mengungguli metode *simple periodogram* yang mengalami penurunan performa. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pendekatan berbasis pembelajaran mesin dengan *input* spektral yang stabil mampu mengeliminasi ketergantungan pada parameter daya *noise* yang tidak diketahui, serta menawarkan solusi penginderaan spektrum yang adaptif dan akurat untuk implementasi jaringan radio kognitif masa depan.

Kata kunci — Radio kognitif, Penginderaan spektrum, *Primary user* jamak, Estimasi PSD, *Welch Periodogram*, *Support Vector Machine*.

ABSTRACT

The rapid development of wireless communication technology today means we need to use the frequency spectrum more efficiently as the availability of licensed frequency bands is decreasing. In this situation, Cognitive Radio (CR) technology appears to be a good solution because it allows Secondary Users (SUs) to utilize empty spectrum slots without interfering with Primary Users (PUs). However, ensuring accurate spectrum detection presents significant challenges, especially in multi-PU contexts where weak PU signals can be masked by the influence of stronger neighboring signals, compounded by uncertainty in receiver noise variance.

This paper proposes an improved spectrum detection methodology that integrates Power Spectral Density (PSD) estimation techniques with Machine Learning (ML) algorithms to address the shortcomings of threshold-based energy detection methods. This study evaluates the effectiveness of three spectrum estimation methods Simple Periodogram, Average Periodogram, and Welch Periodogram along with two classification algorithms: Decision Tree (DT) and Support Vector Machine (SVM). The testing focuses on the system's effectiveness in detecting weak signals masked by strong signals under various Additive White Gaussian Noise (AWGN) channel conditions.

The results show that the Welch Periodogram method performs best compared to other approaches because it can reduce spectral variation and prevent spectral leakage by applying windowing tactics. Tests with a very large noise variance (55mW) show that combining the Welch Periodogram with the SVM algorithm can produce a very robust detection system. Under weak signal conditions, this system maintains an average accuracy of up to 99.80% with the detection probability (P_D) level remaining stable above 95%, which is significantly better than the Simple Periodogram approach, which has many performance issues. This study shows that a Machine Learning-based approach with stable spectral input can eliminate the need for uncertain power noise parameters. This means that this approach can be used in future implementations of cognitive radio networks to detect spectrum flexibly and accurately.

Keywords— *Cognitive Radio, Spectrum Sensing, Multiple Primary Users, PSD Estimation, Welch Periodogram, Support Vector Machine.*