

ABSTRAK

Kelangkaan spektrum frekuensi semakin menjadi perhatian utama dalam komunikasi nirkabel, terutama dengan pertumbuhan eksponensial perangkat seperti ponsel, tablet, dan laptop dalam dua dekade terakhir. Jaringan radio kognitif (*Cognitive Radio Network*, CRN) dipandang sebagai solusi potensial untuk mengatasi masalah ini melalui pengelolaan spektrum yang dinamis. Namun, salah satu tantangan utama dalam CRN adalah pengelolaan *handoff* spektrum, yaitu proses perpindahan *secondary users* (SU) dari satu saluran ke saluran lain saat *primary users* (PU) kembali menggunakan saluran tersebut. Proses *handoff* ini harus dikelola secara tepat agar tidak mengganggu PU dan tetap menjaga kinerja sistem. Jika *handoff* terjadi terlalu sering, hal ini akan membuang waktu berharga dan menurunkan kinerja sistem secara signifikan, termasuk risiko interferensi dengan PU serta penurunan *throughput*. Ketidakpastian dan ketidaklengkapan informasi yang terjadi di CRN sering kali mengakibatkan keputusan *handoff* spektrum yang tidak tepat, yang dapat memicu munculnya efek *ping-pong*, yaitu perpindahan saluran yang berulang-ulang, serta penurunan kualitas layanan.

Pengambilan keputusan *handoff* yang cerdas sangat penting untuk mengatasi tantangan ini. Sistem *fuzzy logic* dikenal efektif dalam mengatasi ketidakpastian dan informasi yang tidak lengkap di CRN, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam lingkungan yang dinamis. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan metode *handoff decision* berbasis sistem *fuzzy* dengan *adaptive membership function* (*adaptive-MF*) yang dirancang untuk meningkatkan kinerja keputusan *handoff* dengan meminimalkan frekuensi *handoff* dan mempertahankan *throughput* yang optimal. Kelebihan dalam hal kecepatan komputasi dan kemampuan untuk menyelesaikan masalah yang dinamis menjadikan sistem *fuzzy* sebagai pilihan tepat untuk diterapkan dalam *handoff decision* di CRN. Pengujian dilakukan melalui simulasi dengan tiga skenario yang melibatkan jumlah SU yang berbeda. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode *fuzzy-AMF* secara signifikan mengurangi jumlah *handoff* dan meningkatkan *throughput* dibandingkan pendekatan sebelumnya. Pada skenario A (1 SU), metode ini berhasil mengurangi *handoff* sebesar 29,4% dibandingkan *fuzzy tree* dan 24,4% dibandingkan *fuzzy Opt-MF-PSO*. Pada skenario B (2 SU) dan skenario C (3 SU), metode ini mencatat pengurangan *handoff* sebesar 15,9% dan 16,7% dibandingkan *fuzzy tree*, serta 14,0% dan 12,1% dibandingkan *Opt-MF-PSO*. Selain mengurangi jumlah *handoff*, metode ini juga berkontribusi terhadap peningkatan *throughput*, dengan hasil yang signifikan. Di sisi *throughput*, metode *fuzzy-AMF* telah berhasil meningkatkan *throughput* sebesar 12,6%, 17,5%, dan 86,7% pada skenario A, B, dan C dibandingkan *fuzzy tree*, serta 9,5%, 14,7%, dan 62,3% dibandingkan *fuzzy Opt-MF-PSO*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *fuzzy* dengan *adaptive membership function* mampu mengurangi *handoff* yang tidak perlu dan memaksimalkan penggunaan spektrum, menjadikannya solusi yang tepat untuk mengatasi tantangan kelangkaan spektrum serta meningkatkan kinerja sistem CRN melalui pengambilan keputusan *handoff* yang lebih tepat. Dengan demikian, metode *fuzzy-AMF* tidak hanya relevan untuk mengatasi masalah *handoff* di CRN, tetapi juga berpotensi menjadi solusi bagi pengelolaan spektrum yang lebih efisien di masa depan.

Kata Kunci: *Cognitive radio network* (CRN), Sistem Fuzzy, *Adaptive Membership function*, *Handoff* spektrum, *Throughput*.

ABSTRACT

Frequency spectrum scarcity is increasingly becoming a major concern in wireless communications, especially with the exponential growth of devices such as cell phones, tablets, and laptops in the past two decades. Cognitive radio networks (CRNs) are seen as a potential solution to address this issue through dynamic spectrum management. However, one of the key challenges in CRNs is spectrum handoff management, which is the process of switching secondary users (SUs) from one channel to another when primary users (PUs) return to use the channel. This handoff process must be managed appropriately so as not to disturb the PUs and still maintain system performance. If handoffs occur too frequently, this will waste valuable time and significantly degrade system performance, including the risk of interference with PUs and decreased throughput. The uncertainty and incomplete information that occurs in the CRN often results in inappropriate spectrum handoff decisions, which can lead to the ping-pong effect, i.e. repeated channel switching, and degradation of service quality.

Intelligent handoff decision-making is essential to address these challenges. Fuzzy logic systems are known to be effective in overcoming uncertainty and incomplete information in CRNs, thus enabling more informed decision making in a dynamic environment. Therefore, this study proposes a fuzzy system-based handoff decision method with adaptive membership function (adaptive-MF) designed to improve handoff decision performance by minimizing handoff frequency and maintaining optimal throughput. The advantages in terms of computational speed and the ability to solve dynamic problems make fuzzy systems an appropriate choice to be applied in handoff decision in CRN. Testing was conducted through simulation with three scenarios involving different numbers of SUs. The simulation results show that the fuzzy-AMF method significantly reduces the number of handoffs and increases throughput compared to previous approaches. In scenario A (1 SU), this method successfully reduced handoffs by 29,4% compared to fuzzy tree and 24,4% compared to fuzzy Opt-MF-PSO. In scenario B (2 SUs) and scenario C (3 SUs), the method recorded handoff reductions of 15,9% and 16,7% compared to fuzzy tree, and 14,0% and 12,1% compared to Opt-MF-PSO. In addition to reducing the number of handoffs, the method also contributes to throughput improvement, with significant results. In terms of throughput, the fuzzy-AMF method has successfully increased throughput by 12,6%, 17,5%, and 86,7% in scenarios A, B, and C compared to fuzzy tree, and 9,5%, 14,7%, and 62,3% compared to fuzzy Opt-MF-PSO.

The test results show that the fuzzy method with adaptive-MF is able to reduce unnecessary handoffs and maximize spectrum usage, making it an appropriate solution to address the challenge of spectrum scarcity and improve CRN system performance through more precise handoff decision making. Thus, the fuzzy-AMF method is not only relevant to addressing the handoff problem in CRNs, but also has the potential to be a solution for more efficient spectrum management in the future.

Keywords: Cognitive radio network (CRN), System Fuzzy, Adaptive Membership function, *Handoff* Spectrum, Throughput.