

## INTISARI

Seiring dengan menipisnya ketersediaan spektrum frekuensi untuk teknologi nirkawat yang baru, berbagai teknik dikembangkan untuk memanfaatkan frekuensi yang telah ada dengan cara penginderaan spektrum (*spectrum sensing*). Penginderaan spektrum ranah frekuensi dan sudut (PSRFS) bertujuan untuk mendapatkan informasi pita-frekuensi dan arah-datang (*Direction-of-Arrival*, DoA) isyarat berdasarkan sudut asimut dan elevasi secara sekaligus. Selain meningkatkan akurasi hasil estimasi pada pencuplikan isyarat dengan pesat *sub-Nyquist*, penggunaan estimator berupa *classical beamforming* (CBF) dan teknik deteksi berupa *Eigen-threshold* (ET) juga diterapkan pada PSRFS ini. Apabila dibandingkan dengan metode *Least Square* (LS) yang diusulkan oleh Ariananda *et. al*, MUSIC memberikan hasil estimasi yang lebih baik dibandingkan dengan LS.

Secara kualitatif, lokasi DoA dan pita-frekuensi sumber isyarat dapat diketahui dengan lebih akurat dibandingkan dengan LS meskipun jumlah sumber isyarat lebih dari jumlah elemen larik antenna. Secara umum, metode PSRFS yang diusulkan memberikan performa RMSE DoA yang rendah, yakni di bawah 0,1 derajat pada SNR yang didefinisikan dari -7 hingga 1 dB. Pada salah satu pengujian PSRFS dengan *signal-to-noise ratio* (SNR) 1 dB, nilai RMSE DoA metode berbasis *sub-Nyquist* dengan MUSIC yang diusulkan lebih kecil dibandingkan dengan metode berbasis *sub-Nyquist* dengan LS. Selain itu, selisih RMSE DoA yang dihasilkan berada di bawah 0,04° dibandingkan dengan metode berbasis *Nyquist* dengan MUSIC. Berdasarkan parameter *probability of detection* ( $P_d$ ) dan *probability of false alarm* ( $P_{fa}$ ), hasil PSRFS masih lebih unggul dari LS pada SNR yang bervariasi dari -21, -19, hingga -17 dB. Pada kasus 3D (*Dimensional*), metode *sub-Nyquist* dengan MUSIC yang diusulkan dapat menunjukkan lokasi pita-frekuensi, sudut asimut, dan sudut elevasi sumber isyarat dengan akurat.

PSRFS dapat diterapkan dengan menggunakan algoritma deteksi sumber isyarat dan estimator yang lebih sederhana yakni algoritma *Classical Beamforming* (CBF). Meskipun belum pernah diterapkan pada penelitian sebelumnya, hasil simulasi menunjukkan bahwa algoritma *Eigen-threshold* (ET) dapat diterapkan pada metode PSRFS berbasis *sub-Nyquist* dengan jumlah sumber isyarat yang dideteksi lebih banyak daripada jumlah antenna yang digunakan. Selain itu, berdasarkan parameter RMSE DoA, performa PSRFS dengan algoritma deteksi memiliki performa yang sama dengan PSRFS pada kondisi di mana jumlah sumber diketahui di sisi penerima untuk ketelitian sudut 1°, 5°, dan 7°. Ketiga parameter isyarat juga dapat diketahui dengan menggunakan teknik yang lebih sederhana tanpa melibatkan dekomposisi nilai-eigen seperti CBF. Meskipun resolusi yang ditawarkan lebih rendah daripada MUSIC, teknik CBF lebih sederhana daripada algoritma MUSIC karena tidak memerlukan informasi jumlah sumber isyarat.

## ***ABSTRACT***

Along with the decrease of availability of frequency spectrum using new wireless technology, a number of techniques have been developed to use the existing frequencies through spectrum sensing. Frequency and angular domain spectrum sensing (FADSS) aimed to obtain the information of multi-parameter in the form of frequency band and DoA in terms of the azimuth and the elevation angle of signals, simultaneously. Apart from improving the accuracy of the estimation results in sampling the signals below than the Nyquist rate, the use of Classical beamforming (CBF) estimator and detection technique such as Eigen-threshold (ET) can be applied in this FADSS. Compared with the Least Square (LS) method proposed by Ariananda et al., MUSIC has provided the better estimation results compared to the LS.

Qualitatively, the location of DoA and the frequency-band of signal sources could be identified more accurately compared to the LS though the number of signals was more than the number of elements of antenna arrays. In general, the method of FADSS proposed could provide the lower value of RMSE DoA i.e.  $0,1^0$  on SNR defined from -7 to 1 dB. In one of the tests on FADSS with signal-to-noise ratio (SNR) 1 dB, the RMSE DoA value of the proposed method based on sub-Nyquist with MUSIC was lower than the one based on the LS. In addition, the difference of the RMSE DoA value was under  $0,04^0$  compared the one based on the Nyquist with MUSIC. Based on the parameters of the probability of detection ( $P_d$ ) and probability of false alarm ( $P_{fa}$ ), the results of FADSS was found more excellent compared to LS in SNR, which varied from -21, -19, to -17 dB. In the 3D (Dimensional) case, the method of sub-Nyquist with MUSIC proposed could show the location of the frequency-band, azimuth and elevation angle of the signal source accurately.

The FADSS is possible to be applied using the detection algorithm and the simpler estimator, i.e., Classical Beamforming (CBF). Though it has not been ever used in the previous researches, the results of the simulation showed that the ET algorithm could be applied in the sub-Nyquist-based FADSS method with the number of sources is more than the given antennas. In addition, based on the parameter of RMSE DoA, the performance of PSRFS with the detection algorithm had the equal performance with PSRFS in a condition where the number of sources is known at the receiver with the accuracy of angles of  $1^0$ ,  $5^0$ , and  $7^0$ . Those three signal parameters could also be identified using the simpler technique without involving the decomposition of the Eigen values such as CBF. Though the resolution offered was lower than MUSIC, the CBF technique was simpler than the MUSIC algorithm since it did not require the information of the number of signal.