

INKOM

Jurnal Informatika, Sistem Kendali dan Komputer

Volume 8, No 1, 2014

Daftar Isi:

<i>Web-Based Decision Support Systems Application of Stock Recommendation Using Bayesian Methods</i> Nina Sevani, Maria Ariesta	1-9
Studi Perbandingan Teknik Sinkronisasi Waktu untuk Sistem Mobile OFDM Suyoto	11-19
Peningkatan Kinerja Skema Estimasi Arah Kedatangan Sinyal dengan <i>Compressive Sensing</i> Sparsitas Sudut dan Sampel <i>Multisnap</i> Koredianto Usman, Andriyan Bayu Suksmono, Hendra Gunawan	21-27
<i>Parallel Algorithms for Spatial Rainfall Distribution</i> Arnida L Latifah, Adi Nurhadiyatna	29-35
Evaluasi Modulasi MFSK untuk Transmisi Data Melalui Kanal Suara GSM Rika Sustika, Oka Mahendra	37-43
Pengembangan Perangkat Lunak Akuisisi Data dan Kontrol Difraktometer Serbuk Resolusi Tinggi Bharoto, Andon Insani	45-51
Metode <i>Adaptive Beamforming</i> untuk <i>Cognitive Radio</i> Agus Subekti	53-60

1/2014

 Pusat Penelitian Informatika - LIPI					
Jurnal INKOM	Vol. 8	No. 1	Hal. 1-60	Bandung, Mei 2014	p-ISSN 1979-8059 e-ISSN 2302-6146



Jurnal Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer

p-ISSN 1979-8059, e-ISSN 2302-6146
Akreditasi LIPI: 556/Akred/P2MI-LIPI/09/2013

Volume 8, No 1, Mei 2014

Penanggung Jawab
Kepala Pusat Penelitian Informatika - LIPI

Dewan Penasihat
Tigor Nauli (Informatika), Engkos Koswara (Informatika)
Ashwin Sasongko (Komputer)

Dewan Redaksi
Ketua
Rifki Sadikin (Komputer)
Anggota
Ana Hadiana (Informatika), Edi Kurniawan (Sistem Kendali)
Esa Prakasa (Komputer), Didi Rosiyadi (Informatika)
Hilman F. Pardede (Komputer), Suharyo (Komputer)

Editor Pemeriksa Naskah
Bambang Sugiarto, Nova Hadi Lestriandoko

Mitra Bestari
Sugihartono (Komputer), Erma Suryani (Sistem Informasi), Irma Zakia (Komputer)

Sekretariat
Dede Juhayati

Alamat Redaksi

Jurnal INKOM
Pusat Penelitian Informatika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Komp. LIPI Gd. 20 Lt. 3 Jln Sangkuriang, Bandung, 40135
Telp: +62 22 2504711, Fax: +62 22 2504712
Email: jurnal@informatika.lipi.go.id, Website: <http://jurnal.informatika.lipi.go.id>
Pertama terbit: Mei 2007
Frekuensi terbit: Dua kali setahun, setiap bulan Mei dan November

Jurnal INKOM adalah jurnal yang mengkaji masalah yang berhubungan dengan Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer dengan keberkalaan penerbitan dua kali setahun pada Juni dan Desember. Tulisan yang dipublikasikan berupa hasil penelitian, pemikiran atau pengembangan untuk kemajuan keilmuan atau terapan. Kelayakan pemuatan dipertimbangkan oleh penilai dengan *double blind review* berdasarkan keaslian (originalitas) dan keabsahan (validitas) ilmiah.
©2014 Hak cipta dilindungi undang-undang



Volume 8, No 1, 2014

Daftar Isi

Hasil Penelitian	Halaman
<i>Web-Based Decision Support Systems Application of Stock Recommendation Using Bayesian Methods</i> Nina Sevani, Maria Ariesta	1-9
Studi Perbandingan Teknik Sinkronisasi Waktu untuk Sistem Mobile OFDM Suyoto	11-19
Peningkatan Kinerja Skema Estimasi Arah Kedatangan Sinyal dengan <i>Compressive Sensing</i> Sparsitas Sudut dan Sampel <i>Multisnap</i> Koredianto Usman, Andriyan Bayu Suksmono, Hendra Gunawan	21-27
<i>Parallel Algorithms for Spatial Rainfall Distribution</i> Arnida L Latifah, Adi Nurhadiyatna	29-35
Evaluasi Modulasi MFSK untuk Transmisi Data Melalui Kanal Suara GSM Rika Sustika, Oka Mahendra	37-43
Pengembangan Perangkat Lunak Akuisisi Data dan Kontrol Difraktometer Serbuk Resolusi Tinggi Bharoto, Andon Insani	45-51
Metode <i>Adaptive Beamforming</i> untuk <i>Cognitive Radio</i> Agus Subekti	53-60



Jurnal Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer

Volume 8, No 1, 2014

Editorial

Pembaca yang terhormat, Jurnal INKOM volume 8 nomor 1 tahun 2014 kali ini berisi 7 karya tulis ilmiah. Dengan rincian 2 makalah merupakan tulisan dalam bidang informatika: *Web-Based Decision Support Systems Application of Stock Recommendation Using Bayesian Methods* dan *Parallel Algorithms for Spatial Rainfall Distribution*, 4 makalah merupakan tulisan dalam bidang komputer: Studi Perbandingan Teknik Sinkronisasi Waktu untuk Sistem Mobile OFDM, Peningkatan Kinerja Skema Estimasi Arah Kedatangan Sinyal dengan *Compressive Sensing* Sparsitas Sudut dan Sampel *Multisnap*, Evaluasi Modulasi MFSK untuk Transmisi Data Melalui Kanal Suara GSM dan Metode *Adaptive Beamforming* untuk *Cognitive Radio*. Serta satu dalam bidang kendali yaitu Pengembangan Perangkat Lunak Akuisisi Data dan Kontrol Difraktometer Serbuk Resolusi Tinggi. Semua tulisan ilmiah yang dipublikasikan telah melalui proses seleksi dengan metoda *double blind* oleh dewan redaksi dan mitra bestari.

Rencana ke depan Jurnal INKOM adalah menjadikan Jurnal INKOM memenuhi standar sehingga dapat diindeks pada indeks global. Dalam waktu dekat, setiap naskah yang dipublikasi pada Jurnal INKOM memiliki DOI (*digital object identifier*). Besar harapan kami agar Jurnal INKOM berkembang menjadi Jurnal yang bermutu.

Pada kesempatan ini, kami mengucapkan banyak terima kasih kepada dewan pengarah, dewan redaksi, editor pelaksana, sekretariat dan para penulis yang telah melancarkan proses penerbitan Jurnal INKOM nomor ini. Mudah-mudahan Jurnal INKOM volume 8 nomor 1, 2014 ini memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan di Indonesia.

Bandung, Mei 2014

Ketua Dewan Editor



Jurnal Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer

Volume 8, No 1, 2014

Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya

DDC 621.39

Nina Sevani, Maria Ariesta (Teknik Informatika, Universitas Kristen Krida Wacana)

Aplikasi Sistem Pendukung Keputusan Rekomendasi Stok Berbasis Web dengan Metode Bayesian

INKOM, 8(1) 2014: 1-9

Pada tulisan ini, sebuah aplikasi yang dapat mendukung pemain saham dengan memberikan saran mengenai transaksi saham yang tepat diusulkan. Dampak yang diharapkan dengan adanya aplikasi ini adalah mengurangi resiko kerugian bahkan mencapai keuntungan yang maksimal bagi pemain saham yang menggunakannya. Saran yang dihasilkan aplikasi diperoleh berdasarkan perhitungan dengan metode Bayes dan empat indikator analisis teknikal yang paling sering digunakan menurut pakar saham, yaitu *Bollinger Bands*, *Moving Average Convergence Divergence* (MACD), *Relative Strength Index* (RSI), dan *Stochastic Oscillator*. Metodologi yang digunakan adalah pengumpulan data, analisis data, perancangan, implementasi, dan pengujian. Dari hasil pengujian aplikasi, diketahui tingkat keakuratan aplikasi sebesar 87,37%.

(Penulis)

Kata kunci: Sistem penunjang keputusan, Rekomendasi saham, Metode Bayes

DDC 621.32

Suyoto (Pusat Penelitian Informatika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

Studi Perbandingan Teknik Sinkronisasi Waktu untuk Sistem Mobile OFDM

INKOM, 8(1) 2014: 11-19

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) adalah teknik modulasi cocok untuk aplikasi *delay spread* yang tinggi. Namun kinerja OFDM sangat sensitif terhadap kesalahan sinkronisasi waktu. Pada tulisan ini, pengkajian terhadap beberapa algoritma untuk sinkronisasi waktu di sistem komunikasi OFDM pada model kanal *multipath ITU Vehicular* dilakukan. Dari hasil analisis, terpilih empat algoritma sinkronisasi waktu yang mempunyai ukuran pewaktu yang bersifat impulsif untuk dievaluasi kinerjanya dalam menghitung waktu kedatangan simbol OFDM. Simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh SNR (*Sinyal to Noise Ration*) dan CIR (*Channel Impulse Response*). Kinerja dari algoritma diukur dengan MSE (*Mean Squared Error*) dari offset timing point. Hasil simulasi menunjukkan bahwa teknik konvensional (teknik autocorrelation dan crosscorrelation) tidak cukup untuk sistem dengan kondisi kanal dengan *delay spread* yang cukup tinggi. Teknik konvensional yang digabungkan dengan teknik perubahan statistik pada korelator mempunyai kinerja yang lebih baik pada kondisi kanal dengan *delay spread* yang cukup tinggi.

(Penulis)

Kata kunci: Mobile, Sinkronisasi waktu, Kanal multipath, OFDM



Jurnal Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer

Volume 8, No 1, 2014

Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya DDC 621.35

Koredianto Usman, Andriyan Bayu Suksmono, Hendra Gunawan (Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung dan Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom; Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung; Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung)

Peningkatan Kinerja Skema Estimasi Arah Kedatangan Sinyal dengan *Compressive Sensing* Sparsitas Sudut dan Sampel *Multisnap*

INKOM, 8(1) 2014: 21-27

Perkembangan teknik *compressive sensing* beserta pemanfaatannya digunakan pada berbagai penyelesaian permasalahan. Salah satu pemanfaatannya yang dibahas di sini adalah untuk pengurangan sampel pada skema estimasi arah kedatangan sinyal. Secara umum terdapat tiga skema besar pemanfaatan teknik *compressive sensing* untuk estimasi arah kedatangan: skema sparsitas frekuensi, skema sparsitas spasial dan skema sparsitas sudut. Dari ketiga teknik ini, skema sparsitas sudut menjadi fokus pada penelitian ini karena keuntungannya dalam mengurangi sampel yang superior dibandingkan dengan dua skema lainnya. Keuntungan lain dari skema ini adalah kesederhanaannya. Kekurangan dari skema ini adalah sensitifitas terhadap *noise*. Pada lingkungan dengan *noise* tinggi dengan SNR kurang dari 0 dB, skema ini menderita kesalahan estimasi sudut di atas lima derajat. Tingkat kesalahan estimasi meningkat pada level yang tidak dapat lagi diterima untuk SNR kurang dari -5 dB. Peningkatan ketahanan terhadap *noise* yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan teknik *multisnap* sampel. Ada dua skema yang diusulkan yaitu teknik *multisnap* sederhana dan teknik *multisnap* dengan outliers removal. Hasil simulasi menunjukkan teknik *multisnap* sederhana meningkatkan akurasi sekitar 2 derajat pada SNR 0 dB. Pada SNR -5 dB terjadi peningkatan akurasi secara signifikan di atas 10 derajat. Pada teknik *multisnap* dengan *outliers removal* terjadi peningkatan akurasi lebih lanjut pada SNR kurang dari -5 dB.

(Penulis)

Kata kunci: Estimasi arah kedatangan sinyal, Matriks Kovariansi, Sparsitas, Compressive Sensing, Matrix Completion



Jurnal Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer

Volume 8, No 1, 2014

Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya

DDC 621.38

Arnida L Latifah dan Adi Nurhadiyatna (Pusat Penelitian Informatika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

Algoritma Paralel untuk Distribusi Spasial Curah Hujan

INKOM, 8(1) 2014: 29-35

Tulisan ini menyajikan mengenai algoritma paralel untuk presipitasi dalam model banjir, khususnya diaplikasikan dalam distribusi spasial untuk data curah hujan. Sebagai salah satu masukan penting dalam pemodelan banjir, distribusi spasial dari presipitasi selalu diperlukan sebagai pre-model banjir. Dalam paper ini, dua metode interpolasi yaitu Inverse Distance Weighting (IDW) dan Ordinary Kriging (OK) akan dibahas. Kedua metode tersebut akan dikembangkan dalam algoritma paralel dengan tujuan untuk mengurangi waktu komputasi. Untuk mengukur efisiensi komputasi, hasil komputasi dengan algoritma paralel akan dibandingkan dengan versi serial algoritma. Tulisan ini menyimpulkan bahwa (1) waktu komputasi algoritma OK lebih lama hingga 23% daripada IDW; (2) waktu komputasi dari kedua algoritma tersebut meningkat secara linier terhadap jumlah titik; (3) algoritma paralel dari kedua metode menurunkan waktu komputasi secara exponential terhadap jumlah prosessor yang digunakan dengan faktor penurunan 0.52 untuk IDW and 0.53 untuk OK; (4) Kedua algoritma paralel menunjukkan speed-up yang hampir ideal.

(Penulis)

Kata kunci: Curah hujan, Inverse distance weighting, Ordinary kriging, Algoritma paralel

DDC 621.38

Rika Sustika, Oka Mahendra (Pusat Penelitian Informatika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

Evaluasi Modulasi MFSK untuk Transmisi Data Melalui Kanal Suara GSM

INKOM, 8(1) 2014: 37-43

Pada tulisan ini, dievaluasi performansi skema modulasi MFSK (*M*-ary Frequency Shift Keying) untuk aplikasi pengiriman data melalui kanal suara GSM (*Global System for Mobile Communication*). Parameter yang dievaluasi berupa kesalahan bit transmisi yang dinyatakan dengan laju kesalahan bit atau *bit error rate* (BER). Evaluasi ini dilakukan untuk menentukan besarnya orde *M* yang akan dipilih pada aplikasi pengiriman data digital melalui kanal suara GSM. Pada proses simulasi, data digital dikodekan menjadi simbol-simbol lalu dimodulasi menggunakan modulator MFSK menjadi data menyerupai pembicaraan (suara). Suara yang dihasilkan dikodekan dengan algoritma CELP (*Code Excited Linear Prediction*), kemudian dikirimkan melalui udara yang dimodelkan sebagai kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). Di sisi penerima, sinyal terima yang menyerupai suara ini didemodulasi dan dikonversi kembali menjadi data digital. Dari simulasi menggunakan *Eb/No* (*signal to noise ratio*) sebesar 6 dB, diperoleh laju bit 2,5 kbps dengan BER $2,01 \times 10^{-3}$ untuk *M*=4, $2,22 \times 10^{-3}$ untuk *M*=8, dan $1,87 \times 10^{-3}$ untuk *M*=16.

(Penulis)

Kata kunci: GSM, MFSK, modulasi, kanal suara



Jurnal Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer

Volume 8, No 1, 2014

Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya

DDC 621.38

Bharoto, Andon Insani (Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, BATAN)

Pengembangan Perangkat Lunak Akuisisi Data dan Kontrol Difraktometer Serbuk Resolusi Tinggi

INKOM, 8(1) 2014: 45-51

Pada tulisan ini, dipresentasikan sebuah sistem akuisisi data dan kendali untuk difraktometer serbuk resolusi tinggi (*High Resolution Powder Diffractometer*, HRPD). Sistem terdiri dari dua bagian yaitu bagian kontrol instrumen seperti sistem penggerak, sistem pembaca posisi, dan sistem pencacah pulsa neutron, dan bagian akuisisi data yang mengendalikan instrumen secara otomatis sesuai dengan mode pengukuran yang diinginkan. Tampilan perangkat lunak ini dibuat sedemikian rupa sehingga tampak lebih *user friendly*, dan memudahkan pengguna dalam melakukan eksperimen karena perangkat lunak ini akan melakukan pengukuran secara otomatis tanpa ada intervensi lebih lanjut dari pengguna sesuai dengan parameter yang dimasukkan pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat lunak ini telah berjalan dengan baik dibuktikan dengan pengukuran kinerja dengan menggunakan peralatan difraktometer serbuk resolusi tinggi.

(Penulis)

Kata kunci: Perangkat lunak, akuisisi data, kontrol, neutron, difraktometer.

DDC 621.38

Agus Subekti (Pusat Penelitian Informatika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

Metode *Adaptive Beamforming* untuk *Cognitive Radio*

INKOM, 8(1) 2014: 53-60

Salah satu peluang pemanfaatan spektrum secara bersama antara secondary users dan primary users adalah dengan memanfaatkan perbedaan sudut datang sinyal (*Angle of Arrival* - AoA). Dengan aplikasi multi antena, arah berkas dari masing-masing dibentuk dan dapat diatur sehingga terfokus dan tidak saling mengganggu karena memberikan interferensi. Pada tulisan ini diusulkan teknik beamforming di sisi penerima. Arah berkas dari larik dibuat maksimum pada arah datang sinyal dan minimum pada arah referensi. Dengan algoritma LMS (*Least Mean Square*), pembobot dihitung secara iteratif agar memberikan nilai MSE (*Minimum Square Error*) dari sinyal keluaran larik dan sinyal referensi yang minimum. Algoritma yang diusulkan selanjutnya dicoba disimulasikan untuk beberapa nilai parameter *step size*.

(Penulis)

Kata kunci: *cognitive radio*, *adaptive beamforming*, *spectrum sensing*



Jurnal Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer

Volume 8, No 1, 2014

The descriptor given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge.

DDC 621.39

Nina Sevani, Maria Ariesta (Informatics Engineering, Krida Wacana Christian University)

Web-Based Decision Support Systems Application of Stock Recommendation Using Bayesian Methods

INKOM, 8(1) 2014: 1-9

We propose an application that can support traders by providing recommendation about the right stock transaction. The expected impact from this application is to reduce the risk of loss, even achieve the maximum profit for traders who use this application. Recommendation that resulted by application is based on Bayesian methods calculation and four technical analysis indicators that most commonly used by stock experts, i.e. Bollinger Bands, Moving Average Convergence Divergence (MACD), Relative Strength Index (RSI), and Stochastic Oscillator. Methodology used in this paper consists of data collection, data analysis, application design, implementation, and testing. From the results of application testing, the accuracy of the application is 87,37%.

(Author)

Keywords: Decision support systems, Stock recommendation, Bayesian methods

DDC 621.32

Suyoto (Research Center for Informatics, Indonesian Institute of Sciences)

Comparison Study on Time Synchronization Methods for OFDM Mobile System

INKOM, 8(1) 2014: 11-19

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) is a modulation technique suitable for high delay spread applications. However, the performance of OFDM is very sensitive to time synchronization errors. In this study, we review some of the algorithms for time synchronization in communication systems OFDM in the ITU Vehicular multipath channel model. From the results of the reviews we chose four time synchronization algorithm that has impulsive timing metric to be evaluated in calculating the arrival time of OFDM symbol. Simulation is done by considering the influence of SNR (Signal to Noise Ratio) and CIR (Channel Impulse Response). Performance of the algorithm is measured by the MSE (Mean Squared Error) of offset timing point. The simulation results show that conventional techniques (autocorrelation and crosscorrelation technique) is not enough for the system to channel conditions with high delay spread. Conventional techniques that combined with statistical changes of correlator has better performance to channel conditions with high delay spread.

(Author)

Keywords: Mobile, Time synchronization, Multipath channels, OFDM



Jurnal Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer

Volume 8, No 1, 2014

The descriptor given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge.

DDC 621.35

Koredianto Usman, Andriyan Bayu Suksmono, Hendra Gunawan (School of Electrical Engineering and Informatics, Bandung Institute of Technology and Electrical Eng Faculty, Telkom University; School of Electrical Engineering and Informatics, Bandung Institute of Technology; Math and Natural Sciences Faculty, Bandung Institute of Technology)

Microcontroller Based Audio Modem Prototype by Means of Digital Direct Synthesizer and Zero Crossing Detector Technique

INKOM, 8(1) 2014: 21-27

The development of compressive sensing has enabled many application solved using this technique. One of the application of compressive sensing in direction of arrival estimation techniques is reducing the number of samples of signals. There are three main schemes that utilized compressive sensing in direction of arrival estimation, namely: frequency sparsity technique, spatial sparsity technique, and angle sparsity technique. This research focuses on angle sparsity technique which is superior compared to other techniques in term of sample reduction and simplicity. Given those advantages, angle sparsity technique suffered in high noise environment. Especially, when SNR is less than 0 dB, this scheme produced estimation error of more than 5 degree. The estimation error grows unacceptable at SNR less than -5 dB where the estimation error is above 10 degree. A proposed method to mitigate this problem is to utilize multisnap samples. There are two multisnap schemes proposed here, which are simple multisnap and multisnap with outliers removal. Simulation results show that the estimation accuracy improves about 2 degree in SNR 0 dB and improve more than 10 degree in SNR -5 dB using simple multisnap. Outliers removal technique is further improve the accuracy, especially for SNR less than -5 dB.

(Author)

Keywords: Direction of Arrival Estimation, covariance matrix, Sparsity, Compressive Sensing, Matrix Completion



Jurnal Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer

Volume 8, No 1, 2013

The descriptor given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge.

DDC 621.38

Arnida L Latifah dan Adi Nurhadiyatna (Research Center for Informatics, Indonesian Institute of Sciences)

Parallel Algorithms for Spatial Rainfall Distribution

INKOM, 8(1) 2014: 29-35

This paper proposes parallel algorithms for precipitation of flood modelling, especially applied in spatial rainfall distribution. As an important input in flood modelling, spatial distribution of rainfall is always needed as a pre-conditioned model. In this paper two interpolation methods, Inverse distance weighting (IDW) and Ordinary kriging (OK) are discussed. Both are developed in parallel algorithms in order to reduce the computational time. To measure the computation efficiency, the performance of the parallel algorithms are compared to the serial algorithms for both methods. Findings indicate that: (1) the computation time of OK algorithm is up to 23% longer than IDW; (2) the computation time of OK and IDW algorithms is linearly increasing with the number of cells/ points; (3) the computation time of the parallel algorithms for both methods is exponentially decaying with the number of processors. The parallel algorithm of IDW gives a decay factor of 0.52, while OK gives 0.53; (4) The parallel algorithms perform near ideal speed-up.

(Author)

Keywords: rainfall, Inverse distance weighting, Ordinary kriging, parallel algorithm

DDC 621.38

Rika Sustika, Oka Mahendra (Research Center for Informatics, Indonesian Institute of Sciences)

Evaluation of MFSK Modulation for Data Transmission over GSM Voice Channel

INKOM, 8(1) 2014: 37-43

In this paper, performance of MFSK (M-ary Frequency Shift Keying) modulation scheme for data transmission over GSM (Global System for Mobile Communication) voice channel is evaluated. The performance is analyzed in terms of bit error rate (BER). This evaluation is done to determine M order that will be choosed for application on data transmission over GSM voice channel. On the simulation process, data are encoded into symbols and modulated using MFSK modulator become speech like waveform. The voice than coded using CELP (Code Excited Linear Prediction) algorithm, and sent over the air that modelled as AWGN (Additive White Gaussian Noise) channel. At the receiver side, the received speech like signal are demodulated and converted back to data. From the simulation using fix signal to noise ratio ($E_b/N_0 = 6$ dB), we achieved a bit rate of 2.5 kbps with BER 2.01×10^{-3} for $M=4$, 2.22×10^{-3} for $M=8$, and 1.87×10^{-3} for $M=16$.

(Author)

Keywords: GSM, MFSK, modulation, voice channel



Jurnal Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer

Volume 8, No 1, 2014

The descriptor given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge.

DDC 621.38

Bharoto, Andon Insani (Research Center for Advanced Material Science and Technology, BATAN)
Development of Data Acquisition and Control Software for High Resolution Powder Diffractometer
INKOM, 8(1) 2014: 45-51

In this paper, we present a new data acquisition and control system for a High Resolution Powder Diffractometer (HRPD). Our system consists of two parts: instrument control system such as motion system, position encoder system, and neutron counting system and the second part is the data acquisition that control the instrument automatically according to measurement mode to be run. According to the evaluation, the system is user friendly and makes users easier to run the experiment since the measurement would be run automatically without user intervention during the experiment. The system is evaluated according to software testing methodology. The results show that the software run well. This claim is verified by experiment/measurement results.

(Author)

Keywords: Software, data acquisition, control, neutron, diffractometer

DDC 621.38

Agus Subekti (Research Center for Informatics, Indonesian Institute of Sciences)
Adaptive Beamforming Method for Cognitive Radio
INKOM, 8(1) 2014: 53-60

The difference in angle of arrival (AoA) is one of among opportunities to share frequency spectrum usage between primary users and secondary users. The direction of transmission beams can be shaped and be focused by using multi antenna. In this paper, we proposed beamforming technique at receiver side. The beam direction was arranged to have maximum at the arrival signal direction and minimum at the angle of reference signals. Using LMS (Least Mean Square) algorithm, weighting vectors were iteratively calculated to get the minimum MSE (Minimum Square Error). The proposed algorithm was evaluated using simulation for several step size values.

(Author)

Keywords: cognitive radio, adaptive beamforming, spectrum sensing

Web-Based Decision Support Systems Application of Stock Recommendation Using Bayesian Methods

Aplikasi Sistem Pendukung Keputusan Rekomendasi Stok Berbasis Web dengan Metode Bayesian

Nina Sevani *, Maria Ariesta

Informatics Engineering Department
Faculty of Engineering and Computer Science
Krida Wacana Christian University
Indonesia

Abstract

We propose an application that can support traders by providing recommendation about the right stock transaction. The expected impact from this application is to reduce the risk of loss, even achieve the maximum profit for traders who use this application. Recommendation that resulted by application is based on Bayesian methods calculation and four technical analysis indicators that most commonly used by stock experts, i.e. Bollinger Bands, Moving Average Convergence Divergence (MACD), Relative Strength Index (RSI), and Stochastic Oscillator. Methodology used in this paper consists of data collection, data analysis, application design, implementation, and testing. From the results of application testing, the accuracy of the application is 87,37%.

keywords: Decision support systems, Stock recommendation, Bayesian methods

Abstrak

Pada tulisan ini, sebuah aplikasi yang dapat mendukung pemain saham dengan memberikan saran mengenai transaksi saham yang tepat diusulkan. Dampak yang diharapkan dengan adanya aplikasi ini adalah mengurangi resiko kerugian bahkan mencapai keuntungan yang maksimal bagi pemain saham yang menggunakannya. Saran yang dihasilkan aplikasi diperoleh berdasarkan perhitungan dengan metode Bayes dan empat indikator analisis teknikal yang paling sering digunakan menurut pakar saham, yaitu *Bollinger Bands*, *Moving Average Convergence Divergence* (MACD), *Relative Strength Index* (RSI), dan *Stochastic Oscillator*. Metodologi yang digunakan adalah pengumpulan data, analisis data, perancangan, implementasi, dan pengujian. Dari hasil pengujian aplikasi, diketahui tingkat keakuratan aplikasi sebesar 87,37%.

kata kunci: Sistem penunjang keputusan, Rekomendasi saham, Metode Bayes

1. INTRODUCTION

Stock is one of lots investment options that increasingly in demand by all circles [1]. Stock investments processed by sell and buy stocks to get a part ownership of the companies. Investors profits obtained from the difference of stock buy value and sell value. Stock investor is better known also as a trader. To get the maximum profits, traders must buy or sell stock in the right time. The right

times means traders buy stock when it is in the lowest price and sell stock when it is in the highest price over period [2]. The changes of stock price or stock value are influenced by several factors, namely internal factors of company and external factors such as announcements of government and world politic economy development. Thus before do some stock transaction, trader must analyze changes of stock price, so the transactions did can give maximum profits and avoid any risks of loss. There are two kind of analysis for trader, fundamental analysis and technical analysis [3]. For long term investation, fundamental analysis is better than technical analysis. Technical analysis helps to predict the direction of share price movement through the study of post market data, primarily

*Corresponding Author. Tel: +6222-7564108

Email: giselanins@gmail.com

Received: 24 Mar 2014; revised: 16 Apr 2014; accepted: 23 Apr 2014

Published online: 30 May 2014

© 2014 INKOM 2014/14-NO302

price and volume [4]. But for short term investment, fundamental analysis is better [5]. But, the problem is not easy to analyze changes of stock price, especially for beginner trader. Even the accuracy of analyze result by human expert in stock is only 70%. Beside skill for analyze the stock price, trader can minimize the risk and maximize the profit for every transaction they made if they can get solution from the expert about the trend of stock price in the future [6].

To solve this problem, this paper proposes a decision support system application that can give traders recommendation about transaction will be taken, whether buy, sell, or just hold stocks. That recommendation obtained from combination calculation of technical analysis and Bayesian methods. Technical analysis is an analysis method that used often in stock trade by calculates combination of open price, closing price, highest price, and lowest price of stock with some formula [7]. Technical analysis is commonly figured in a chart form. Technical analysis includes hundreds of indicators. The use of some indicators before decision making is one of the wiser technical analysis [8]. The preliminary study shown that several technical tools can be used together [9]. Some indicators that mostly used by stock expert according to broker of PT Kresna Securities are Bollinger Bands, Moving Average Convergence Divergence (MACD), Relative Strength Index (RSI), and Stochastic Oscillator. Traders are often inclined to use one indicator with other indicators to see if there is a confirmation. In particular, the use of an oscillator will often be coupled with a non-oscillator indicator. If these indicators confirm the recommendation of the other one indicator, the trader will have greater evidence that the forecast is correct. Therefore, technical analysis indicators used in this application for calculate are four indicators that have been mentioned. The reason of use four indicators is because not all stocks match with one type of indicator and some previous reason mentioned. This application also provide chart of technical analysis to help traders in monitoring historical stock data and support their analysis.

Decision support system application that will be developed is an application based on web, which can be run by all browser application. The advantages from develop web based application are can used on many platform and also can accessed wherever without limit of space and time. This application is developed especially for beginner trader to support them in reading technical analysis indicator chart and making stock transaction decision. But still, this application is also useful for expert traders to get the best profit. This decision support system application

just give traders a recommendation about the best transaction according to calculation indicators with Bayesian methods, but decision is free taken by all traders.

This paper is organised as follows: in Section 2, we present some indicators for stock recommendation and Bayesian methods. In Section 3, we present our methodology in building the Decision Support System. In Section 4, the implementation and performance of the system are presented. In Section 5, we conclude our paper.

2. INDICATORS FOR STOCK RECOMMENDATION AND BAYESIAN METHODS

In this section, we will revisit some indicators for stock recommendation and the definition of Bayesian methods.

2.1 Stock Technical Analysis Indicators

Technical analysis use historical stock data to be processed and produce buy and sell signal in a chart form [10]. Technical analysis has hundreds indicators that created by professionals with different mindset. The result of their analysis is different each other. Indicators of technical analysis used in application developed are Bollinger Bands, Moving Average Convergence Divergence (MACD), Relative Strength Index (RSI), and Stochastic Oscillator. Each indicator has a different formula to get a chart line, buy signals, and sell signals of stock.

The first technical analysis indicator used is Bollinger Bands. Bollinger Bands is one of technical analysis indicator tool invented by John Bollinger in the 1980s, and a term trademarked in 2011. Bollinger Bands use standard deviation in calculation instead of a fixed percentage. It is displayed as three bands that called middle band, upper band, and lower band (Fig. 1) [11]. The purpose of Bollinger Bands is to provide a relative definition of high and low. By definition, prices are high at the upper band and low at the lower band. This indicator is useful in comparing price action to the action of indicators to arrive at systematic trading decisions.

Formula to create middle band, upper band, and lower band can be written in Equation 1, 2, and 3.

$$\text{Middle Band} = \text{SMA}_{20} \quad (1)$$

$$\text{Upper Band} = \text{SMA}_{20} + (\text{STDEV}_{20} \times 2) \quad (2)$$

$$\text{Lower Band} = \text{SMA}_{20} - (\text{STDEV}_{20} \times 2) \quad (3)$$

Where SMA_{20} is an average of closing price of stocks for last 20 days, and STDEV_{20} (Standard



Figure 1. Sample Chart of Bollinger Bands

Deviation of Price) is a standard deviation of closing price of stocks for last 20 days. STDEV formula can be written as follows:

$$STDEVP = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}} \quad (4)$$

Where x is the closing price of stocks, $\bar{x}$ is SMA_{20} , and n is a total days calculated (in this case, total days calculated is 20 days).

The use of Bollinger Bands varies widely among traders. In decision support system application of stock recommendation, buy signals will appear when price touches the lower band and exit when price breaks above the middle band. Sell signals will appear when price at upper band falls below the middle band. Moreover, the use of Bollinger Bands is not confined to stock traders. These signals of buy and sell stock is only as recommendation, and decision is free taken by each trader.

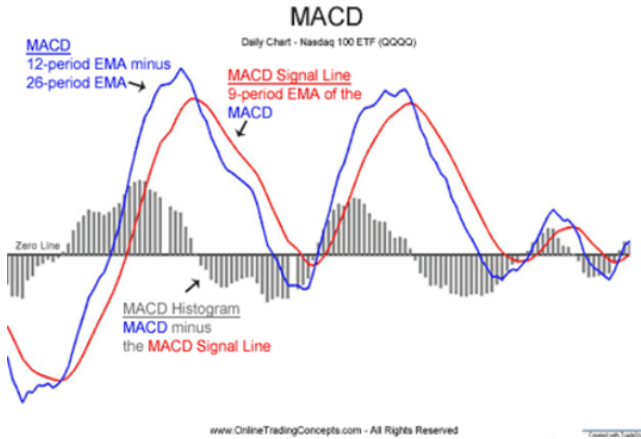


Figure 2. Sample Chart of MACD

The second analysis technical indicator used is Moving Average Convergence Divergence (MACD). MACD is created by Gerald Appel in the late 1970s, and it is one of the simplest and most effective momentum indicators available [12]. The MACD turns

two trend-following indicators, moving average, into a momentum oscillator by subtracting the longer moving average from the shorter moving average. As a result, the MACD offers the best of both worlds, that is trend following and momentum. MACD fluctuates above and below the zero line as the moving averages converge, cross, and diverge. MACD is a collection of two signals calculated from historical price data, most often the closing price. The signal is shaped in a line form. These two signal lines are the MACD Line and Signal Line [11] (Figure 2). Calculation to create MACD line and signal line can be written as follows in Equation 5 and 6.

$$MACD_{Line} = EMA_{12} - EMA_{26} \quad (5)$$

$$Signal_{Line} = \frac{2}{9+1} \times (MACD_{Line} - Signal_P) + Signal_P \quad (6)$$

Where EMA_{12} is an exponential moving average of closing price of stock for 12 days, EMA_{26} is an exponential moving average of closing price of stock for 26 days, and $Signal_P$ is a Signal Line on one day before.

EMA_{12} and EMA_{26} can be calculated with formula as follows:

$$EMA_{12} = \frac{2}{12+1} \times (C - EMAP) + EMAP \quad (7)$$

$$EMA_{26} = \frac{2}{26+1} \times (C - EMAP) + EMAP \quad (8)$$

Where C is the closing price of stock on the latest day, $EMAP$ in EMA_{12} formula is the EMA_{12} one day before, and $EMAP$ in EMA_{26} formula is the EMA_{26} one day before.

In decision support system application of stock recommendation, buy signals will appear when the MACD Line has a negative value and crosses above the Signal Line. Sell signals will appear when the MACD Line has a positive value and crosses below the Signal Line [11].

The third analysis technical indicator used is Relative Strength Index (RSI). Developed by J. Welles Wilder, RSI is one of the most commonly used technical indicators to gauge momentum on stock markets and it has proven remarkably accurate over the past few months at predicting turning points for key equity indexes in North America. The RSI is popular among investors because it is fairly simple to read and easy to understand. RSI is an oscillator that measures current price strength in relation to previous prices [10]. RSI calculation is based on 14 days. Mathematically, the RSI formula can be written as follows in Equation 9.

$$RSI = 1 - \left(\frac{100}{1 + RS} \right) \quad (9)$$

Where RS = average gain/average loss. average gain is the average of gains over the past 14 days, and average gain is the average of losses over the past 14 days. Losses are expressed as positive values, not negative values.

The index measures momentum on a scale of zero (0) to 100. RSI that has reading below 30 is considered oversold and a reading above 70 indicated an overbought position. In decision support system application of stock recommendation, buy signals will appear when the RSI crosses above the oversold line (30), and sell signals will appear when the RSI crosses below the overbought line (70) [11]. The sample chart of RSI is shown in Figure 3.



Figure 3. Sample Chart of RSI

The fourth analysis technical indicator used is Stochastic Oscillator. Developed by George C. Lane in the late 1950s, the Stochastic Oscillator is a momentum indicator that shows the location of the close relative to the high-low range over a set number of periods [13]. Stochastic Oscillator will give an anticipatory signal in combination between %K line and %D line (Figure 4). Mathematically, the Stochastic Oscillator is defined in Equation 10.

$$\%K = \frac{C - L_{14}}{H_{14} - L_{14}} \times 100 \quad (10)$$

Where C is the current closing price of stock, L_{14} is respectively the lowest price over the last 14 days, and H_{14} is respectively the highest price over the last 14 days. %D is obtained from calculate average of %K over the last 3 days.



Figure 4. Sample Chart of Stochastic Oscillator

Buy signals and sell signals can be seen from the line formed by %K and %D. In decision support system application of stock recommendation, buy signals will appear when %K line crossed above %D line when %K value is smaller or equals to 20. This condition indicates trend of bullish, which is the stock prices are potentially overbought and seem likely to rise. Sell signals will appear when %K line crosses below %D line when the value of %K is greater or equals to 80. This condition indicates trend of bearish, which is the stock prices are potentially overbought and seem likely to going down [11].

2.2 Bayesian Methods

Named for Thomas Bayes, Bayesian logic is a branch of logic applied to decision making and inferential statistics that deals with probability inference. The Bayesian method is using the knowledge of prior events to predict future events. Bayesian methods involving statistical methods that assign probabilities or distributions to events or parameters based on experience or best guesses before experimentation [14].

Generally, the calculation formula of Bayesian methods defined as follows:

$$Prob = \sum_{j=1}^n Value_j \times (K_j) \quad (11)$$

Where j is a variable that indicates sequence number of criteria, and n is a variable that indicates total of criteria. In decision support system application of stock recommendation, the criteria are technical analysis indicators. It means, $j = 1$ indicates indicator Bollinger Bands, $j = 2$ indicates MACD, $j = 3$ indicates RSI, and $j = 4$ indicates Stochastic Oscillator. $Value_j$ is the result of calculation based on each indicator, and K_j is the weight of criteria probability. In this case, K_1 is 0.2, K_2 is 0.3, K_3 is 0.2, and K_4 is 0.4. The weights of criteria probability are obtained from

summarizing questionnaires answer that be written by stock experts. Signal buy will appear when the total probability value of buy is greater than 0.5, signal sell will appear when the total probability of sell is greater than 0.5, and signal hold will appear when the total probability of sell and hold is 0.5. Signal hold means to not buy or sell stocks.

3. SYSTEM DEVELOPMENT

We use the following methodology for system development: first we collect historical data stock. Next, to figure out the requirements we asks experts to take a questionnaire. At the final step, we design the system based on the questionnaire.

3.1 Historical Stock Data Collection

In develop decision support system application of stock recommendation, the main thing most needed is stock data. Stock data is used as input data that will be processed and finally produce stock transaction recommendation. Stock data used includes historical stock data for last six months. Stock data can change every second, so, to produce a proper result, stock data used must be real time. Stock data is taken from Bursa Efek Indonesia (BEI) directly. Application developer cooperated with PT Tri Ultima Solusindo to get the stock data in a real time way. PT Tri Ultima Solusindo is a software house that develops online trading based on any platform, such as desktop application, website, mobile application, and mobile website.

3.2 Questionnaire

To more figure out the problem, developer asks several stock experts to take some questionnaire. Stock experts involved must have an experienced at least for three years in stock trade. They are from PT. Kresna Securities, PT. Universal Broker, PT. Kontakperkasa Darmawan, PT. Soe Gee Futures, and PT. Interpan Pasifik Group. There are two kinds of questionnaire, that is pre-implementation questionnaire and post-implementation questionnaire. Pre-implementation questionnaire must do before implementation of system, while post-implementation questionnaire must do after implementation of system. The main questions in pre-implementation questionnaire are technical analysis indicator that most often used and average profit percentage in one month from stock trade. Whereas, the goal of post-implementation questionnaire are to analyze advantages felt by stock experts from the use of decision support system application of stock recommendation and to ask some suggestion to improve developed application.

3.3 System Design

System design is the process of representing the result of analysis into a form that is more easily understood. In this case, system design is defined with a flowchart and context diagram. Flowchart is a type of diagram that represents the processes, showing the steps as boxes of various kinds, and connected by arrows. Flowcharts help visualize what is going on and thereby help the viewer to understand a process. Flowchart of decision support system application of stock recommendation is shown in the Figure 5.



Figure 5. System Flowchart

Steps in designing this application based on flowchart in Figure 5 are as follows:

- (1) create a connection to take historical stock data from BEIs server;
- (2) put formula of technical analysis indicators used into coding page and program will do calculation based on that formula automatically;
- (3) show the calculation results of technical analysis into web page, and it does also be input data of next calculation with Bayesian methods;
- (4) put formula of Bayesian methods into coding page and program will do calculation based on formula that has been written automatically;
- (5) show the results of calculation with Bayesian methods into web page as recommendation for users or traders.

Beside flowchart, system design also defined with a context diagram. Context diagram is a diagram that represents the actors outside a system that could interact with that system. This diagram is the highest level view of a system. Context diagram of a decision support system application of stock recommendation is shown in the Figure 6.



Figure 6. Context Diagram

The context diagram in Figure 6 shows that BEI give historical stock data into decision support system application of stock recommendation. The system will process that data and produce output some recommendation of stock transaction for users (traders).

4. RESULTS AND DISCUSSION

In this section, we present implementation of the system, some presentations of our proposed system. At the end of this section, we discuss the performance of of the proposed system.

4.1 Implementation

Developed decision support system application of stock recommendation has been hosted into website. Hardware required to run this web application are Personal Computer (PC) or notebook with minimum specifications: 1 GHz processor, 512 Mb RAM, 20Gb hard disk, keyboard and mouse (or others similar) as input tools. Besides, it is also required internet connection with speed minimum 200 kbps. The software required for run this application well are: browser application (option: Internet Explorer 6+, Firefox 1.5+, Safari 3+, Chrome 3+, or Opera 9+), and Java Applet 1.2+ to support chart display.

4.2 Application Presentations

This application has four web pages, which are Home page, Technical Analysis page, Decision Support System (DSS) page, and Contact Us page. Home page contains a brief explanation about this decision support system application of stock recommendation. Technical Analysis page contains chart of technical analysis indicator used (Figure 7). Chart shown is the chart of stock listed on the left side of the screen. Users can type any local

stock there and chart will be changes automatically. DSS page contains list of default stock (LQ-45s stock) with some data concerned, the calculation results of each indicator used (represented by MACD for Moving Average Convergence Divergence indicator, BB for Bollinger Bands indicator, RSI for Relative Strength Index indicator, and SO for Stochastic Oscillator), and recommendation from Bayesian method calculation that represented by DSS. There are three possible result from this method, Hold, Buy, and Sell. Hold means this application recommend user to hold the stock (not buy and not sell). Result buy recommend user to buy the stock, meanwhile result sell recommend user to sell the stock. Users can always add or change any stock they want by type it on stock column. The DSS page is shown in Figure 8. The last is Contact Us page. Contact Us page contains contact person who can be contacted by email, contact number, and office address. Existences of Contact Us page are for users who want to give any critics and advices, or need further information about this application.

4.3 Evaluation

Evaluation is the process of determining the value or worth of an application. The primary purpose of evaluation is to know whether developed decision support system application of stock recommendation can run well and useful for all users. Evaluation has done by ask some people to be a respondent. Respondents asked to try this application by access it through internet network.

After respondents try all features available in this application, respondents are asked to fill a questionnaire. The questionnaire contains four questions, which is each question represents one point of evaluation. Four points of evaluation such as:

- (1) Accuracy level of indicators signal reading;
 - (2) The benefits perceived by respondents;
 - (3) Accuracy level of stock transaction recommendation at DSS page and DSS column; and last
 - (4) The interest level and simplicity to operate application over user interface of application.
- Result of questionnaires answer by stock experts which has been summarized in Figure 9.

In Figure 9, the blue one indicates that respondents give positive opinions about the point of evaluation, while the red one indicates the respondents give negative opinions. From the evaluation chart, known that 80% of respondents said that application give an accurate recommendation like what they read on technical analysis chart. 90% of respondents said that application can be useful for beginner traders



Figure 7. Technical Analysis Page

No	Stock	Name	Last	Open	MACD	BB	RSI	SO	DSS
1	AALI	Astra Agro Lestari Tbk.	19,000	18,900	HOLD	HOLD	BUY	SELL	HOLD
2	ADRO	Adaro Energy Tbk.	1,630	1,610	HOLD	HOLD	BUY	SELL	HOLD
3	AKRA	AKR Corporatio Tbk.	4,175	4,150	HOLD	HOLD	SELL	SELL	HOLD
4	ANTM	Aneka Tambang (Persero)...	1,360	1,370	HOLD	HOLD	BUY	SELL	HOLD
5	ASII	Astra International Tbk.	7,750	7,800	HOLD	HOLD	SELL	SELL	HOLD
6	ASRI	Alam Sutera Realty Tbk.	840	850	HOLD	HOLD	SELL	SELL	HOLD
7	BBCA	Bank Central Asia Tbk.	10,000	10,000	HOLD	HOLD	SELL	SELL	HOLD
8	BBNI	Bank Negara Indonesia (P...	4,375	4,325	HOLD	HOLD	SELL	SELL	HOLD
9	BBRI	Bank Rakyat Indonesia (P...	8,550	8,750	HOLD	HOLD	SELL	SELL	HOLD
10	BDMN	Bank Danamon Indonesia ...	5,950	6,000	HOLD	HOLD	SELL	SELL	HOLD
11	BHIT	Bhakti Investama Tbk.	490	495	HOLD	HOLD	BUY	SELL	HOLD
12	BJBR	Bank Pembangunan Daera...	1,220	1,220	HOLD	HOLD	SELL	SELL	HOLD
13	BKSL	Sentul City Tbk.	250	250	HOLD	HOLD	SELL	SELL	HOLD
14	BMRI	Bank Mandiri (Persero) Tbk.	9,100	9,050	HOLD	HOLD	SELL	SELL	HOLD
15	BORN	Borneo Lumbung Energi &...	570	530	HOLD	HOLD	BUY	SELL	HOLD
16	BSDE	Bumi Serpong Damai Tbk.	1,420	1,420	HOLD	HOLD	SELL	SELL	HOLD
17	BUMI	Bumi Resources Tbk	910	730	HOLD	HOLD	SELL	SELL	HOLD
18	BWPT	BW Plantation Tbk.	1,320	1,300	HOLD	HOLD	BUY	SELL	HOLD
19	CPIN	Charoen Pokphand Indon...	4,150	4,000	HOLD	HOLD	SELL	SELL	HOLD
20	ELTY	Bakrieland Development T...	59	55	HOLD	HOLD	SELL	SELL	HOLD

Figure 8. DSS Page

to help them in reading technical analysis chart. Total respondents who agree with recommendation

in column DSS is 70% of all. All respondents do not

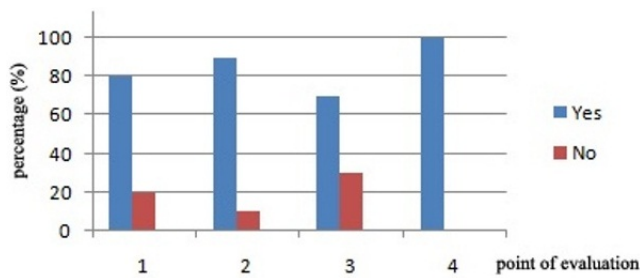


Figure 9. Evaluation Chart

have any problem in operating the application and user interface.

Beside evaluation by some stock experts, evaluation also did by compare recommendation given by application with the fact. The fact can be seen a few days after recommendation is given. Comparing is done for seven days on LQ-45 stocks. According to broker of PT. Kresna Securities, seven days is a good time to do stock price comparing. This evaluation give the result that accuracy of recommendation given by application is 87,37%. Mathematically, it is obtained by formula calculation as follows in Eq. 14:

By the results, it means developed decision support system application of stock recommendation is still not fulfill the goal of application. That is because the standard minimum of accuracy level is just 87,37%, that is still under 100%. But this doesn't reduce benefit for beginner traders in help them to read technical analysis indicator chart.

Evaluation also made with compare this application with other existing applications. The evaluation result shown in Table I.

5. CONCLUSION

Technical Analysis feature in a decision support system application of stock recommendation is useful to show technical analysis chart for all users (traders). Technical analysis chart commonly needs by all traders in stock trading. By use DSS feature in this application, users can be helped in read signal of technical analysis indicator chart, especially for beginner traders who do not have much experience in stock trade. Signal scope given in this application is only for Bollinger Bands indicator, MACD indicator, RSI indicator, and Stochastic Oscillator indicator. This application also can give stock transaction recommendation for traders. The purpose is to help traders in making stock transaction decision that give maximum profit for them and avoid any risk of loss. Based on evaluation that has been done, accuracy level of recommendation given by application is 87.37%. The lack of this accuracy level can be caused

Table I. Comparison to Existing Systems

Application Name	Description
Online Trading	(1) Owned by securities company. (2) Can be accessed only by security's member. (3) Give real time information about stocks and forex. (4) Can be accessed via desktop, web, and mobile devices.
Virtual Trading	(1) Using virtual money to make a transaction. (2) Can be used as an exercise tools for beginners stock player. (3) Real Meta (www.duniainvestasi.com) (4) Display intraday data. (5) Paid application. (6) Manage portfolio. (7) Automatic update with specific interval.
HOTS (Home Online Trading System) by PT. Daewoo Securities	(1) Provide personal portfolio. (2) Provide historical stock data. (3) Paid application. (4) Display bid and offer position of a stock. (5) Equipped by tools for technical analysis. (6) Various kinds of paid application (7) Usually only using one indicator. (8) Usually only provide one specific stocks code.
Probabilistic Neural Network for Technical Analysis for stock investment [3]	(1) Using Probabilistic Neural Network to process stock. (2) Using seven indicators. (3) Appropriate only for big volume data, like time series data.

by varies of factors, such as discrepancy of variables used in calculation with Bayesian methods, discrepancy applying Bayesian methods in calculate stock recommendation, or discrepancy of technical analysis indicators combination used.

In order to get better result of application, more detail studies needs to be conducted. One

of them is to review the weight of criteria probability in calculation with Bayesian methods. In addition, advised to study other calculation methods that maybe suitable to produce an accurate stock recommendation. Furthermore, also advised to review technical analysis indicators used in improving decision support system application of stock recommendation.

ACKNOWLEDGMENT

This research is funding by Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Kristen Krida Wacana with contract No. 14/UKKW/LPPM-FT/Lit/XI/2012.

Daftar Pustaka

- [1] D. Mulyana, "Analisis likuiditas saham serta pengaruhnya terhadap harga saham pada perusahaan yang berada pada indeks lq45 di bursa efek indonesia," *Jurnal Magister Manajemen*, vol. 4, no. 1, Maret 2011.
- [2] A. Z. R. Langi, S. Pitara, and Kuspriyanto, "Stock prices trends analysis using wavelet transform," in *Cloud Computing and Social Networking (ICCCSN)*, 2012 International Conference on, April 2012, pp. 1–4.
- [3] Tristiyanto, "Pemilihan analisis teknis dalam berinvestasi saham menggunakan probabilistic neural network," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, Agustus 2007.
- [4] Rajan, S. G.B., and S. Parimala, "Stock price movement through technical analysis : Emperical evidence from the fast moving cunsomer goods (fmcg) sector," *Paripex-Indian Journal of Research*, vol. 2, no. 2, February 2013.
- [5] M. Samsul, *Pasar Modal dan Manajemen Portofolio*. Erlangga, 2006.
- [6] P. Ou and H. Wang, "Prediction of stock market index movement by ten data mining techniques," *Modern Applied Science*, vol. 3, no. 12, December 2009.
- [7] K. Hendarto, *Belajar Trading: Pahami Trading Sebelum Anda Memulai*. Andi Offset, 2005.
- [8] K. S. Kannan, P. S. Sekar, M. M. Sathik, and P. Arumugam, "Financial stock market forecast using data mining techniques," in *Proceedings of the International Multiconference of Engineers and computer scientists*, vol. 1, 2010.
- [9] G. Cohen, A. Kudryavstev, and S. Hon-Snirpractice : Is it technical or fundamental," *Journal of Applied Finance and Banking*, vol. 1, no. 3, 2011.
- [10] T. Hidayat, *Buku Pintar Investasi Reksadana, Saham, Opsi Saham, Valas, & Emas*. Mediakita, 2010.
- [11] D. Wira, *Analisis Teknikal Untuk Profit Maksimal*. PT Exceed, 2010.
- [12] H. Syamsir, *Solusi Investasi di Bursa Saham Indonesia*. PT Elex Media Komputindo, 2004.
- [13] S. Widoatmodjo, *Cara Cepat Memulai Investasi Saham: Panduan Bagi Pemula*. PT Elex Media Komputindo, 2007.
- [14] N. Marimin & Maghfiroh, *Aplikasi Teknik Pengambilan Keputusan dalam Manajemen Rantai Pasok*. IPB Press, 2011.

Comparison Study on Time Synchronization Methods for OFDM Mobile System

Studi Perbandingan Teknik Sinkronisasi Waktu untuk Sistem Mobile OFDM

Suyoto

Pusat Penelitian Informatika
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Komplek LIPI, Jl Cisitua No 21/154D Bandung
Indonesia

Abstract

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) is a modulation technique suitable for high delay spread applications. However, the performance of OFDM is very sensitive to time synchronization errors. In this study, we review some of the algorithms for time synchronization in communication systems OFDM in the ITU Vehicular multipath channel model. From the results of the reviews we chose four time synchronization algorithm that has impulsive timing metric to be evaluated in calculating the arrival time of OFDM symbol. Simulation is done by considering the influence of SNR (Signal to Noise Ratio) and CIR (Channel Impulse Response). Performance of the algorithm is measured by the MSE (Mean Squared Error) of offset timing point. The simulation results show that conventional techniques (autocorrelation and crosscorrelation technique) is not enough for the system to channel conditions with high delay spread. Conventional techniques that combined with statistical changes of correlator has better performance to channel conditions with high delay spread.

keywords: Mobile, Time synchronization, Multipath channels, OFDM

Abstrak

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) adalah teknik modulasi cocok untuk aplikasi *delay spread* yang tinggi. Namun kinerja OFDM sangat sensitif terhadap kesalahan sinkronisasi waktu. Pada tulisan ini, pengkajian terhadap beberapa algoritma untuk sinkronisasi waktu di sistem komunikasi OFDM pada model kanal *multipath ITU Vehicular* dilakukan. Dari hasil analisis, terpilih empat algoritma sinkronisasi waktu yang mempunyai ukuran pewaktu yang bersifat impulsif untuk dievaluasi kinerjanya dalam menghitung waktu kedatangan simbol OFDM. Simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh SNR (*Sinyal to Noise Ration*) dan CIR (*Channel Impulse Response*). Kinerja dari algoritma diukur dengan MSE (*Mean Squared Error*) dari offset timing point. Hasil simulasi menunjukkan bahwa teknik konvensional (teknik autocorrelation dan crosscorrelation) tidak cukup untuk sistem dengan kondisi kanal dengan *delay spread* yang cukup tinggi. Teknik konvensional yang digabungkan dengan teknik perubahan statistik pada korelator mempunyai kinerja yang lebih baik pada kondisi kanal dengan *delay spread* yang cukup tinggi.

kata kunci: Mobile, Sinkronisasi waktu, Kanal multipath, OFDM

1. PENDAHULUAN

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) telah diadopsi secara luas untuk sistem komunikasi dengan kecepatan data tinggi seperti WLAN [1], DVB [2] dan WMAN 802.16m [3],

karena efisiensi bandwidth tinggi dan ketahanan terhadap multipath delay. Dua aplikasi yang terakhir bekerja pada daerah dengan mobilitas yang tinggi. Teknik OFDM membutuhkan modulasi pada pemancar menggunakan IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) dan teknik demodulasi pada penerima menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*). Dalam rangka untuk mencari simbol yang di demodulasi pada FFT adalah simbol yang tepat, maka teknik sinkronisasi yang tepat diperlukan. Ketidaktepatan dalam menghitung waktu kedatangan simbol dapat menyebabkan

*Corresponding Author. Tel: +6222-2504711

Email: suyotolipi.go.id

Received: 24 Apr 2014; revised: 5 May 2014; accepted: 10 May 2014

Published online: 30 May 2014

© 2014 INKOM 2014/14-NO301

distorsi fase ICI (*Inter Carrier Interference*) dan ISI (*Inter Symbol Interference*) [4–6]. Untuk memastikan kinerja sistem OFDM, ketepatan waktu kedatangan simbol perlu dihitung. Sinkronisasi waktu biasanya dilakukan di penerima untuk tujuan ini.

Kinerja sistem OFDM adalah dipengaruhi oleh sinkronisasi waktu, estimasi kanal, dan mobilitas. Kesalahan dalam estimasi waktu tidak hanya menyebabkan ICI dan ISI tetapi juga menurunkan kinerja estimasi kanal [7]. Persyaratan untuk sinkronisasi akan tinggi dengan meningkatnya kompleksitas sistem. Sebagai contoh, dalam lingkungan dengan mobilitas tinggi, link kanal berubah dengan cepat. Sinkronisasi waktu pada kondisi ini akan menimbulkan masalah dengan metode sinkronisasi waktu konvensional. Oleh karena itu metode sinkronisasi yang efisien benar-benar dibutuhkan.

Teknik sinkronisasi untuk penerima pada OFDM telah banyak diusulkan dalam banyak makalah ilmiah [8–32]. Secara umum teknik sinkronisasi dibagi menjadi tiga jenis, yang pertama adalah dengan menggunakan *training symbol* yang mengeksplorasi sifat periodik simbol pada domain waktu [8–21]. Yang kedua adalah dengan menggunakan korelasi cyclic prefix (CP) dan cuplikan datanya [22–29]. Ketiga adalah teknik blind dimana teknik sinkronisasi dilakukan tanpa menggunakan *training symbol* [30–32].

Teknik sinkronisasi dengan menggunakan preamble (*training symbol*) termasuk teknik yang paling baik bila dilihat dari sisi kompleksitas dan performansinya, tetapi teknik ini mengkonsumsi bandwidth karena ada tambahan data yang dikirimkan berupa *training symbol*. Teknik yang kedua dengan menggunakan *cyclic prefix* mempunyai kelebihan dalam hal efisiensi bandwidth, karena tidak membutuhkan *training symbol* untuk perhitungan sinkronisasinya, tetapi bila dilihat dari sisi performansi masih kurang bagus dibandingkan dengan teknik yang menggunakan *training symbol*. Teknik yang ketiga tanpa menggunakan *training symbol* (*blind technique*) mempunyai kelebihan dalam hal efisiensi bandwidth, karena tidak membutuhkan *training symbol* untuk perhitungan sinkronisasinya, tetapi bila dilihat performansi masih kurang baik bila dibandingkan dengan teknik yang memakai *training symbol*, begitu juga tingkat kompleksitasnya masih tinggi, sehingga tidak cocok di lingkungan yang mempunyai karakteristik delay spread yang tinggi.

Dalam tulisan ini teknik sinkronisasi dengan menggunakan simbol *training* digunakan, dimana teknik ini secara umum paling baik dari teknik yang lainnya. Berikut akan diberikan beberapa ulasan

dengan teknik yang menggunakan simbol *training* (*training symbol*). Schmidl dan Cox (SAC) [8] menghitung kedatangan waktu simbol dengan menggunakan korelasi setengah simbol *training* yang identik. Metode ini menghasilkan ambiguitas, karena daerah dataran tinggi di daerah CP. Minn et al. (MINN1) [10] menghitung kedatangan waktu simbol menggunakan korelasi empat bagian simbol *training* identik. Metode ini menghasilkan *timing metric* yang lebih tajam daripada SAC, tetapi masih memiliki ambiguitas di daerah puncak korelasinya. Park dan Cheon (PAC) [9] menghitung kedatangan waktu simbol menggunakan korelasi simetris dari simbol *training*. Metode ini menghasilkan *timing metric* yang impulsif di daerah puncak korelasinya, tetapi masih terdapat satu side lobe pada salah satu sisi dari *timing metric* yang tepat. Minn et al. (MINN2) [11] menghitung kedatangan waktu simbol menggunakan korelasi empat bagian simbol *training* identik dengan menggunakan deretan Golay sebagai simbol *training*. Metode ini menghasilkan *timing metric* lebih tajam daripada MINN1, tetapi masih memiliki sedikit ambiguitas di daerah puncak korelasinya. Ren et al. (REN) [12] menghitung kedatangan waktu simbol menggunakan korelasi deretan CAZAC (Constant Amplitude Zero AutoCorrelation) sebagai simbol *training* dengan deretan Pseudo Noise (PN) sebagai faktor pembobot. Metode ini menghasilkan *timing metric* yang impulsif di daerah puncak korelasinya, karena deretan PN mempunyai sifat autocorrelation yang baik. Yi et al. (YI) [13, 14] menghitung kedatangan waktu simbol menggunakan korelasi simetris simbol *training* dengan struktur yang berbeda dengan PAC. Metode ini menghasilkan *timing metric* yang impulsif di daerah puncak korelasinya, karena properti dari korelasi simetris. Awoseyila et al. (AWS) [15, 16] menghitung kedatangan waktu simbol dengan teknik SAC dan ditambahkan teknik crosscorrelation pada sisi penerimanya. Metode ini menghasilkan *timing metric* yang impulsif di daerah puncak korelasinya, karena penggabungan teknik autocorrelation dan crosscorrelation perubahan statistik dari korelator simetrik. Cho dan Park (YHC) [17] menghitung kedatangan waktu simbol menggunakan perubahan statistik dari korelator simetris. Metode ini menghasilkan *timing metric* yang impulsif di daerah puncak korelasinya, karena perubahan statistik dari korelator simetrik.

Struktur tulisan adalah sebagai berikut: pada Bagian 2 ditinjau singkat sistem OFDM, selanjutnya pada Bagian 3 akan disajikan beberapa metode sinkronisasi yang akan dikaji kinerjanya, sedangkan pada Bagian 4 hasil simulasi dan analisis metode

sinkronisasi dibahas. Tulisan ini ditutup dengan kesimpulan pada Bagian 5.

2. SISTEM OFDM

Secara umum transmisi pada sistem OFDM berisi deretan OFDM simbol, setiap simbol dibangkitkan dengan IFFT sejumlah N point. Interval modulasi untuk setiap simbol adalah T , sehingga bandwidth untuk satu simbol OFDM adalah $1/T$. Sehingga spasi dari subcarrier menjadi $f_{sub} = 1/NT$. Sinyal yang dikirimkan melalui kanal AWGN dirumuskan sebagai:

$$y[n] = x[n] + w[n], \quad (1)$$

dimana $x[n]$ adalah sinyal keluaran dari IFFT dan $w[n]$ adalah white Gaussian noise. Ketika sinyal dikirimkan melalui kanal multipath dengan panjang delay spread L , Persamaan 1 menjadi:

$$y[n] = \sum_{m=0}^{L-1} h[m]x[n-m] + w[n], \quad (2)$$

dimana $h[m]$ respon impulse kanal. Adanya ketidaksinkronan dalam osilator dapat dimodelkan dengan Carrier Frequency Offset (CFO) Δf_{co} . Sehingga sinyal yang diterima pada receiver menjadi:

$$y[n] = y[n]e^{j2\pi\Delta f_{co}kT} = y[n]e^{j2\pi\frac{k}{N}\xi_f} \quad (3)$$

dimana ξ_f adalah normalisasi dari CFO terhadap spasi subcarrier. sehingga NCFO dapat didefinisikan sebagai $\xi_f = \frac{\Delta f_{co}}{\Delta f_{sub}}$. Pada receiver, waktu offset dapat dimodelkan sebagai delay pada sinyal yang diterima ($r[n]$).

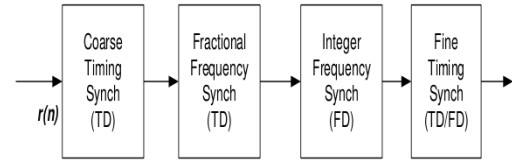
$$r[n] = y[n - n_e]e^{j2\pi\frac{k}{N}\xi_f} \quad (4)$$

dimana n_e adalah nilai integer yang belum diketahui dari waktu kedatangan simbol.

3. BLOK SINKRONISASI DAN METODE SINKRONISASI WAKTU DENGAN SIMBOL TRAINING

Secara umum sinkronisasi pada OFDM dapat digambarkan pada Gambar 1. Sinkronisasi waktu coarse (awal) dilakukan pada domain waktu (TD) kemudian sinkronisasi untuk menghilangkan pecahan (fractional) dari frekuensi offset dilakukan pada domain waktu dan selanjutnya menghilangkan integer frekuensi offset dilakukan pada domain frekuensi dan yang terakhir adalah sinkronisasi waktu fine (akhir).

Pada bagian ini akan dibahas tujuh teknik sinkronisasi awal yang menggunakan simbol



Gambar 1. Blok sinkronisasi OFDM [16].

training. Tujuan dari sinkronisasi awal ini adalah untuk menghitung waktu *offset*. Secara umum, *timing metric* dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$M(d) = \left(\frac{|P(d)|}{R(d)} \right)^2 \quad (5)$$

dimana $P(d)$ adalah urutan korelasi, $R(d)$ adalah energi dari simbol yang diterima dan $M(d)$ adalah waktu sinkronisasi awal pada sampel ke d^{th} . d adalah indek dari sampel.

(1) Metode SAC

Bentuk dari simbol training pada domain waktu yang diusulkan oleh SAC adalah $P_{sch} = [A_{N/2} \ A_{N/2}]$ dimana $A_{N/2}$ adalah sampel dengan panjang $N/2$ dan dibangkitkan dengan mengirimkan deretan Pseudo Noise (PN) pada frekuensi genap dan nol untuk frekuensi ganjil, kemudian $P(d)$ dan $R(d)$ dihitung sebagai berikut:

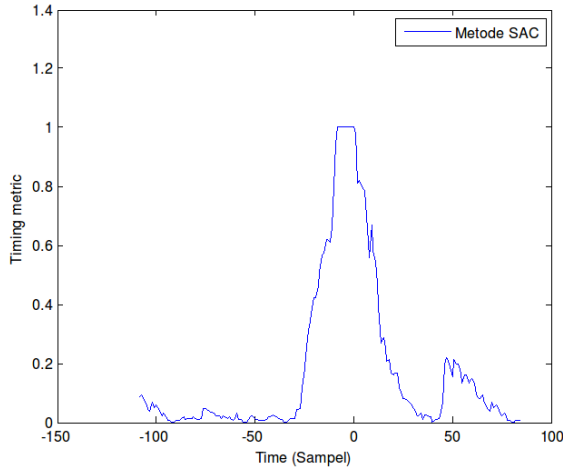
$$P(d) = \sum_{k=0}^{N/2-1} r^*(d+k)r(d+k+\frac{N}{2}) \quad (6)$$

$$R(d) = \sum_{k=0}^{N/2-1} |r(d+k+\frac{N}{2})|^2 \quad (7)$$

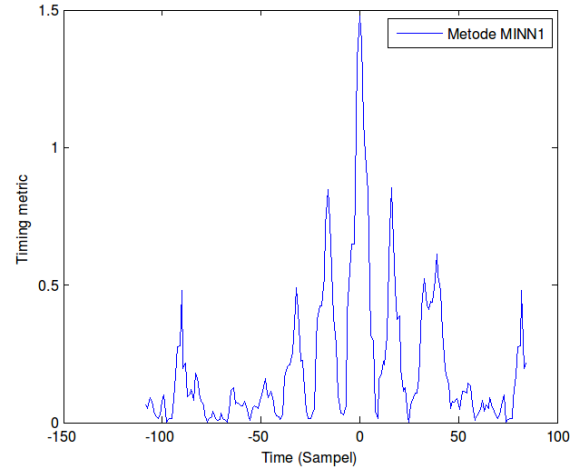
dimana N adalah panjang FFT, r adalah sinyal yang diterima dan *timing metric* $M(d)$ dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5. Gambar 2 merupakan contoh *timing metric* dari metode SAC. Dapat dilihat dari Gambar 2 bahwa *timing metric* yang dihasilkan oleh SAC terdapat daerah datar (ambigu) sehingga menghasilkan varian estimasi yang sangat lebar.

(2) Metode MINN1

Bentuk dari simbol training pada domain waktu yang diusulkan oleh MINN1 adalah $P_{minn1} = [A_{N/4} \ A_{N/4} \ -A_{N/4} \ -A_{N/4}]$ dimana $A_{N/4}$ adalah sampel dengan panjang $N/4$ yang dibangkitkan dengan deretan PN, kemudian $P(d)$ dan $R(d)$ dihitung sebagai berikut:



Gambar 2. Contoh *timing metric* dari metode SAC.



Gambar 3. Contoh *timing metric* dari metode MINN1.

$$P(d) = \sum_{k=0}^1 \sum_{m=0}^{L-1} r^*(d + 2Lk + m) r(d + 2Lk + m + L) \quad (8)$$

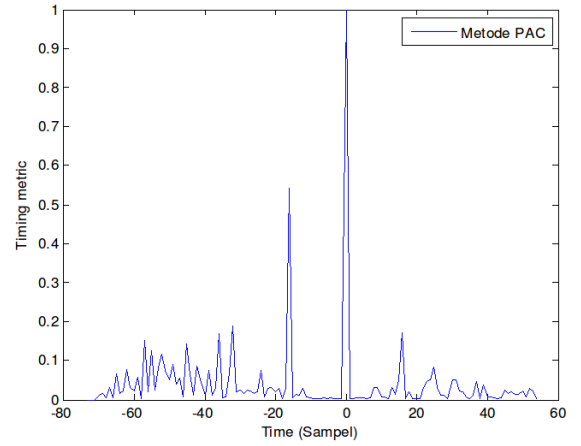
$$R(d) = \sum_{k=0}^1 \sum_{m=0}^{L-1} |r(d + 2Lk + m + L)|^2 \quad (9)$$

Dimana L adalah panjang bagian yang sama yaitu $N/4$. *Timing metric* ($M(d)$) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5. Gambar 3 merupakan contoh *timing metric* dari metode MINN1. Dapat dilihat dari Gambar 3 bahwa *timing metric* yang dihasilkan lebih tajam dari metode SAC, tetapi masih menghasilkan banyak *side lobe* pada kedua sisi dari *timing metric* yang tepat sehingga pada SNR yang rendah dapat menyebabkan daerah ambigu baru.

(3) Metode PAC

Bentuk dari simbol *training* pada domain waktu yang diusulkan oleh PAC adalah $P_{parke} = [A_{N/4} \ B_{N/4} \ A_{N/4}^* \ B_{N/4}^*]$ dimana $A_{N/4}$ adalah sampel dengan panjang $N/4$ yang dibangkitkan dengan mengirimkan deretan Pseudo Noise (PN) dimana deretan PN yang digunakan hanya bagian riil saja yang dikirimkan pada frekuensi genap dan nol untuk frekuensi ganjil. $A_{N/4}^*$ merupakan konjugat dari $A_{N/4}$ dan $B_{N/4}$ dirancang simetris dengan $A_{N/4}$, kemudian $P(d)$ dan $R(d)$ dihitung sebagai berikut:

$$P(d) = \sum_{k=1}^{N/2} r(d - k) r(d + k) \quad (10)$$



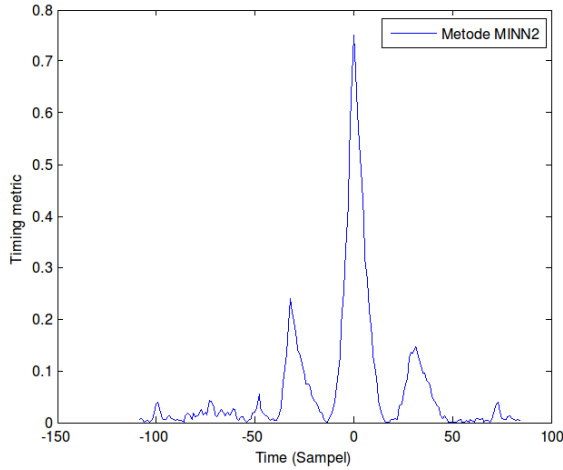
Gambar 4. Contoh *timing metric* dari metode PAC.

$$R(d) = \sum_{k=1}^{N/2} |r(d + k)|^2 \quad (11)$$

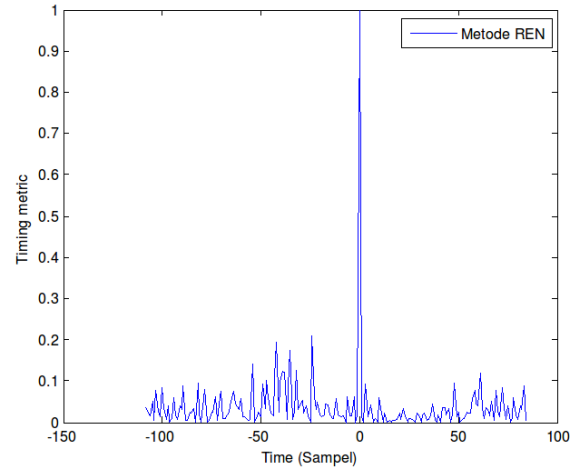
Timing metric ($M(d)$) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5. Gambar 4 merupakan contoh *timing metric* dari metode PAC. Dapat dilihat dari Gambar 4 bahwa *timing metric* yang dihasilkan lebih tajam dari metode MINN1, tetapi masih ada *side lobe* pada salah satu sisinya dari *timing metric* yang tepat.

(4) Metode MINN2

Bentuk dari simbol *training* pada domain waktu yang diusulkan oleh MINN2 adalah $P_{minn2} = [A_{N/4} \ -A_{N/4} \ A_{N/4} \ A_{N/4}]$ dimana $A_{N/4}$ adalah sampel dengan panjang $N/4$ dengan FFT dari deretan Golay, kemudian $P(d)$ dan $R(d)$ dihitung sebagai berikut:



Gambar 5. Contoh timing metric dari metode MINN2.



Gambar 6. Contoh timing metric dari metode REN.

$$P(d) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{L-1} r^*(d+k+iM)r(d+k+(i+1)M) \quad (12)$$

$$R(d) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{L-1} |r(d+k+iM)|^2 \quad (13)$$

$$M(d) = \left(\frac{M}{M-1} \frac{|P(d)|}{R(d)} \right)^2 \quad (14)$$

dimana $b(i)$ adalah perkalian dari pola simbol *training* seperti yang dihasilkan pada [8]. M adalah panjang dari bagian yang sama disini digunakan $M = 4$ dan L adalah panjang sampel pada setiap bagian. Gambar 5 merupakan contoh *timing metric* dari metode MINN2. Dapat dilihat dari Gambar 5 bahwa *timing metric* yang dihasilkan lebih tajam dari metode MINN1, dimana masih terdapat sedikit *side lobe* pada kedua sisi dari *timing metric* yang tepat.

(5) Metode REN

Bentuk dari simbol *training* pada domain waktu yang diusulkan oleh REN adalah $P_{REN} = [A_{N/2} \ A_{N/2}]oPN$ dimana o adalah perkalian *hadamard* dan PN adalah deretan *pseudo noise* dengan nilai 1 atau -1, kemudian $P(d)$ dan $R(d)$ dihitung sebagai berikut:

$$P(d) = \sum_{k=0}^{N/2-1} s_k s_{k+N/2} r^*(d+k)r(d+k+\frac{N}{2}) \quad (15)$$

$$R(d) = (1/2) \sum_{k=0}^{N-1} |r(d+k)|^2 \quad (16)$$

dimana s_k adalah deretan PN sebagai faktor pembobot, dan *timing metric* ($M(d)$) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5. Gambar 6 merupakan contoh *timing metric* dari metode REN. Dapat dilihat dari Gambar 6 bahwa *timing metric* yang dihasilkan lebih tajam dari metode MINN2 dan hampir sama dengan metode PAC.

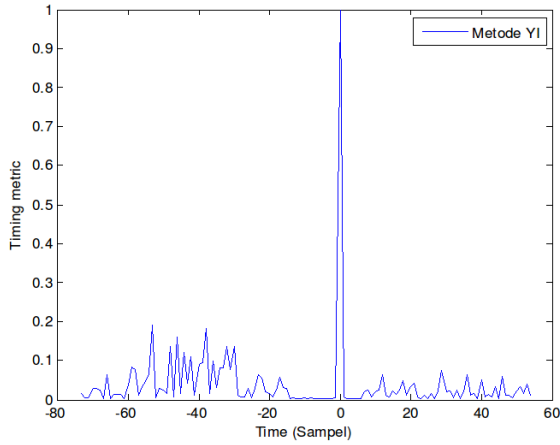
(6) Metode YI

Bentuk dari simbol *training* pada domain waktu yang diusulkan oleh PAC adalah $P_{YI} = [A_{N/2} \ B_{N/2}]$ dimana $A_{N/2}$ merupakan sampel dengan panjang $N/2$ dan $B_{N/2}$ adalah konjugat simetris dengan $A_{N/2}$, yang dibangkitkan dengan menggunakan riil dari deretan PN yang dikirimkan dengan jumlah $N/2$ pada tengah-tengah spektrum IFFT dan pada sisi-sisi spektrum dibiarkan nol, kemudian $P(d)$ dan $R(d)$ dihitung sebagai berikut:

$$P(d) = \sum_{k=1}^{N/2-1} r(d+k)r(d-k+N) \quad (17)$$

$$R(d) = \sum_{k=1}^{N/2-1} |r(d+k)|^2 \quad (18)$$

Timing metric ($M(d)$) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5. Gambar 7 merupakan contoh *timing metric* dari metode MINN2. Dapat dilihat dari Gambar 7 bahwa



Gambar 7. Contoh timing metric dari metode YI.

timing metric yang dihasilkan lebih baik dari metode PAC dan hampir sama dengan metode REN.

(7) Metode AWS

Bentuk dari simbol *training* pada domain waktu yang diusulkan AWS adalah sama dengan SAC, tetapi ditambahkan teknik *crosscorrelation* pada sisi penerimanya.

$$M_c(d) = \frac{1}{G} \sum_{k=0}^G |P_{sch}(d-k)|^2 \quad (19)$$

$$P_x(d) = \sum_{k=0}^{N-1} r(d+k) S_{sch}^*(k) \quad (20)$$

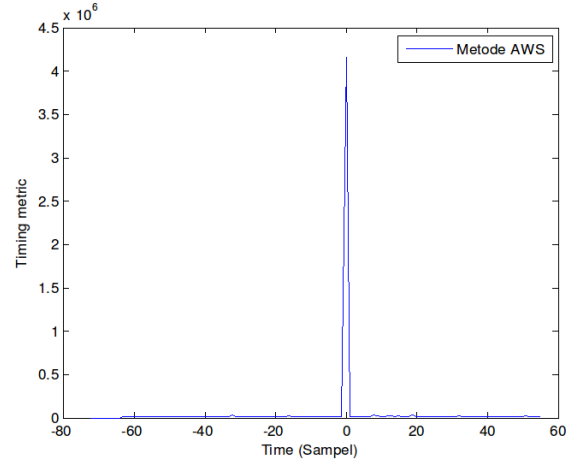
$$M(d) = |P_x(d)|^2 \cdot M_c(d) \quad (21)$$

dimana P_{sch} adalah struktur simbol *training* dari SAC, $M_c(d)$ adalah teknik *averaging* dari *timing metric* SAC, dan $P_x(d)$ adalah teknik *crosscorrelation* dari sinyal yang diterima dengan simbol *training* yang ada pada penerima (S_{sch}). Gambar 8 merupakan contoh *timing metric* dari metode AWS. Dapat dilihat dari Gambar 8 bahwa *timing metric* yang dihasilkan lebih tajam sedikit dari metode PAC, dan hampir sama dengan metode REN dan YI.

(8) Metode YHC

Bentuk dari simbol *training* pada domain waktu yang diusulkan oleh YHC adalah sama dengan PAC, tetapi menggunakan metrik yang berbeda dalam menghitung $M(d)$.

$$M(d) = \exp\left(-\frac{1}{2}P(d) + 1\right) I_0(\sqrt{P(d)^2 - 2P(d)}) \quad (22)$$



Gambar 8. Contoh timing metric dari metode AWS.

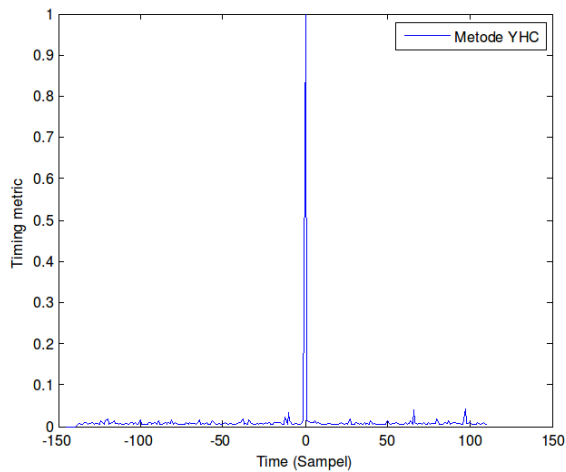
$$P(d) = \frac{T(d)^2}{\sigma_0^2(d)} \quad (23)$$

$$T(d) = \left| \sum_{k=1}^{N/2-1} r\left(d + \frac{N}{2} - k\right) r\left(d + \frac{N}{2} + k\right) \right| \quad (24)$$

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{2Mc} \sum_{k=0}^{Mc-1} T^2(n-k) \quad (25)$$

dimana $T(d)$ adalah korelator simetris dan σ_0^2 adalah varian dari korelator simetris. Mc adalah panjang korelator simetris. Gambar 9 merupakan contoh *timing metric* dari metode YHC. Dapat dilihat dari Gambar 9 bahwa *timing metric* yang dihasilkan lebih tajam sedikit dari metode REN, AWS, dan YI, dimana varian yang dihasilkan lebih kecil dari metode-metode sebelumnya.

Dari pembahasan metode-metode untuk sinkronisasi waktu awal diatas dapat disimpulkan bahwa metode-metode yang mempunyai *timing metric impulsive* adalah metode REN, YI, AWS dan YHC. *timing metric* yang *impulsive* sangat dibutuhkan dalam mendeteksi waktu kedatangan frame OFDM dengan tepat, dimana tidak ada ambigu pada sisi penerima. Keempat metode diatas dapat bekerja dengan baik pada lingkungan AWGN dan tanpa mobilitas, tetapi dilingkungan dengan mobilitas tinggi dan *link* kanal yang berubah secara cepat metode-metode tersebut belum tentu bekerja dengan baik. Oleh karena itu untuk melihat kinerjanya, pada bagian berikut metode-metode dengan *timing metric* yang *impulsive* akan disimulasikan dengan model kanal multipath ITU vehicular A and B channel [33].



Gambar 9. Contoh timing metric dari metode YHC.

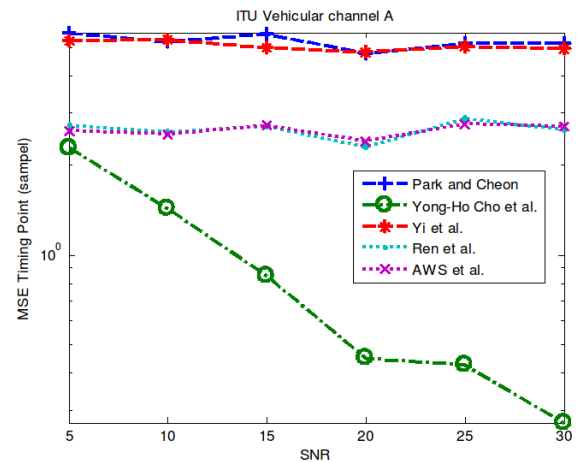
4. SIMULASI DAN ANALISIS

Dalam bagian ini kami mengevaluasi kinerja empat algoritma dalam *timing metric* dan mengukur MSE dari *offset timing point*. Kami menggunakan 4-QAM sebagai teknik modulasi dan *Guard Interval/Cyclic Prefix* di ambil 12,5% dari simbol OFDM pada kecepatan sampling $0.1\mu s$. Parameter untuk simulasi dapat dilihat pada I. Simulasi mempertimbangkan pengaruh SNR dan disimulasikan dengan model kanal *multipath ITU Vehicular A and B*. Dalam simulasi ini kami menggunakan *Rayleigh fading*, karena kami mengasumsikan tidak ada komponen *line of sight*.

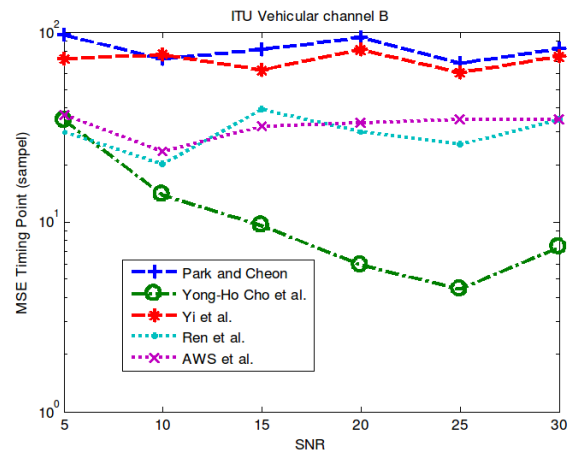
Kami mengukur *mean square error* dari *offset timing point*. MSE dari *offset timing point* didefinisikan sebagai $E|(t_{estimasi} - t_{offset})|^2$, yang mana menunjukkan rata-rata kuadrat dari waktu *offset* karena transmisi dan estimasi waktu dari penerima.

Tabel I. Parameter simulasi OFDM

Jenis Kanal	Jumlah subcarrier	Jumlah lintasan	Delay (μs)	Power (dB)
Vehicular A channel	1024	6	0.0	0.0
			0.31	-1.0
			0.71	-9.0
			1.09	-10.0
			1.73	-15.0
Vehicular B channel	1024	6	2.51	-20.0
			0.0	-2.5
			0.3	0.0
			8.9	-12.8
			12.9	-10.0
			17.1	-25.2
			20.0	-16.0



Gambar 10. Kinerja dari empat algoritma pada ITU vehicular kanal A.



Gambar 11. Kinerja dari empat algoritma pada ITU vehicular kanal B.

Gambar 4 menunjukkan empat algoritma pada kanal *ITU Vehicular A*. Gambar 11 menunjukkan empat algoritma pada kanal *ITU Vehicular B*. Kedua model kanal sama-sama menggunakan enam lintasan sebagai model kanal *delay*.

Gambar 4 dan 11 menunjukkan algoritma YHC paling baik kedua jenis model kanal. Hal ini terjadi karena penggunaan teknik deteksi dengan menggunakan perubahan statistik pada korelator simetris. Teknik PAC dan YI adalah yang terburuk karena teknik ini hanya menggunakan teknik *autocorrelation*, sedangkan teknik REN dan AWS sudah menggabungkan teknik *autocorrelation* dengan *crosscorrelation*.

5. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa teknik-teknik yang berbasis *autocorrelation* dan *crosscorrelation* (teknik konvensional) tidak cukup

untuk sistem dengan kondisi kanal dengan *delay spread* yang cukup tinggi. Teknik konvensional yang digabungkan dengan teknik statistik mempunyai kinerja yang sangat baik pada kondisi dengan *delay spread* tinggi. Metode YHC dapat menentukan lintasan pertama dari kanal, tetapi jika lintasan pertama tersebut bukan yang paling kuat *gain*-nya maka metode YHC akan gagal untuk menghitung lintasan pertama dari kanal.

Daftar Pustaka

- [1] *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Higher-Speed Physical Layer Extension in the 5 GHz Band, IEEE 802.11a*, IEEE Std., 1999.
- [2] H. Sari, G. Karam, and I. Jeanclaude, "Transmission techniques for digital terrestrial tv broadcasting," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 33, no. 2, pp. 100–109, Feb 1995.
- [3] *IEEE 802.16m-09/0034r4 IEEE 802.16m System Description Document [Draft]*, IEEE Std., 2010.
- [4] Y. S. C., J. Kim, W. Y. Y., and C. G. K., *Mimo-OFDM Wireless Communications with Matlab*. John Wiley and Sons (Asia) Pte Ltd., 2010.
- [5] B. Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications 2/E*. Prentice Hall., 2002.
- [6] T. Pollet, M. Van Bladel, and M. Moeneclaey, "Ber sensitivity of ofdm systems to carrier frequency offset and wiener phase noise," *Communications, IEEE Transactions on*, vol. 43, no. 234, pp. 191–193, 1995.
- [7] Y. Mostofi and D. Cox, "Mathematical analysis of the impact of timing synchronization errors on the performance of an ofdm system," *Communications, IEEE Transactions on*, vol. 54, no. 2, pp. 226–230, 2006.
- [8] T. Schmidl and D. Cox, "Robust frequency and timing synchronization for ofdm," *Communications, IEEE Transactions on*, vol. 45, no. 12, pp. 1613–1621, 1997.
- [9] B. Park, H. Cheon, C. Kang, and D. Hong, "A novel timing estimation method for ofdm systems," *Communications Letters, IEEE*, vol. 7, no. 5, pp. 239–241, 2003.
- [10] H. Minn, M. Zeng, and V. Bhargava, "On timing offset estimation for ofdm systems," *Communications Letters, IEEE*, vol. 4, no. 7, pp. 242–244, 2000.
- [11] H. Minn, V. Bhargava, and K. Letaief, "A robust timing and frequency synchronization for ofdm systems," *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, vol. 2, no. 4, pp. 822–839, 2003.
- [12] G. Ren, Y. Chang, H. Zhang, and H. Zhang, "Synchronization method based on a new constant envelop preamble for ofdm systems," *Broadcasting, IEEE Transactions on*, vol. 51, no. 1, pp. 139–143, 2005.
- [13] G. Yi, L. Gang, and G. Jianhua, "A novel timing and frequency synchronization scheme for ofdm systems," in *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007. WiCom 2007. International Conference on*, 2007, pp. 393–397.
- [14] —, "A novel time and frequency synchronization scheme for ofdm systems," *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 54, no. 2, pp. 321–325, 2008.
- [15] A. Awoseyila, C. Kasparis, and B. Evans, "Improved preamble-aided timing estimation for ofdm systems," *Communications Letters, IEEE*, vol. 12, no. 11, pp. 825–827, November 2008.
- [16] —, "Robust time-domain timing and frequency synchronization for ofdm systems," *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 55, no. 2, pp. 391–399, 2009.
- [17] Y.-H. Cho and D.-J. Park, "Timing estimation based on statistical change of symmetric correlator for ofdm systems," *Communications Letters, IEEE*, vol. 17, no. 2, pp. 397–400, 2013.
- [18] Y. Kang, D. Ahn, and S. Kim, "Preamble pattern independent timing estimation for ofdm systems," *Electronics Letters*, vol. 44, no. 5, pp. 365–366, 2008.
- [19] H. Abdzadeh-Ziabari, M. Shayesteh, and M. Manaffar, "An improved timing estimation method for ofdm systems," *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 56, no. 4, pp. 2098–2105, November 2010.
- [20] H. Abdzadeh-Ziabari and M. Shayesteh, "Robust timing and frequency synchronization for ofdm systems," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 60, no. 8, pp. 3646–3656, Oct 2011.
- [21] —, "A novel preamble-based frame timing estimator for ofdm systems," *Communications Letters, IEEE*, vol. 16, no. 7, pp. 1121–1124, July 2012.
- [22] M. Speth, F. Classen, and H. Meyr, "Frame synchronization of ofdm systems in frequency selective fading channels," in *Vehicular Technology Conference, 1997, IEEE 47th*, vol. 3, 1997, pp. 1807–1811 vol.3.
- [23] T. Keller and L. Hanzo, "Orthogonal frequency division multiplex synchronisation techniques for wireless local area networks," in *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1996. PIMRC'96., Seventh IEEE International Symposium on*, vol. 3, Oct 1996, pp. 963–967 vol.3.
- [24] J.-J. van de Beek, M. Sandell, M. Isaksson, and P. Ola Borjesson, "Low-complex frame synchronization in ofdm systems," in *Universal Personal Communications. 1995. Record., 1995 Fourth IEEE International Conference on*, Nov 1995, pp. 982–986.
- [25] J.-J. van de Beek, M. Sandell, and P. Borjesson, "ML estimation of time and frequency offset in ofdm systems," *Signal Processing, IEEE Transactions on*, vol. 45, no. 7, pp. 1800–1805, 1997.
- [26] M.-H. Hsieh and C.-H. Wei, "A low-complexity frame synchronization and frequency offset compensation scheme for ofdm systems over fading channels," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 48, no. 5, pp. 1596–1609, 1999.
- [27] T. Lv, H. Li, and J. Chen, "Joint estimation of symbol timing and carrier frequency offset of ofdm signals over fast time-varying multipath channels," *Signal Processing, IEEE Transactions on*, vol. 53, no. 12, pp. 4526–4535, Dec 2005.

- [28] C. Williams, M. Beach, and S. McLaughlin, "Robust ofdm timing synchronisation," in *Vehicular Technology Conference, 2006. VTC 2006-Spring. IEEE 63rd*, vol. 4, 2006, pp. 1947–1950.
- [29] W.-L. Chin, "ML estimation of timing and frequency offsets using distinctive correlation characteristics of ofdm signals over dispersive fading channels," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 60, no. 2, pp. 444–456, 2011.
- [30] H. Bolcskei, "Blind estimation of symbol timing and carrier frequency offset in wireless ofdm systems," *Communications, IEEE Transactions on*, vol. 49, no. 6, pp. 988–999, 2001.
- [31] B. Park, H. Cheon, E. Ko, C. Kang, and D. Hong, "A blind ofdm synchronization algorithm based on cyclic correlation," *Signal Processing Letters, IEEE*, vol. 11, no. 2, pp. 83–85, 2004.
- [32] J. C. Manco-Vasquez, V. P. Gil Jimenez, and M. Fernandez-Getino Garcia, "Robust timing synchronization for multicarrier systems based on rst invariance," *Communications Letters, IEEE*, vol. 17, no. 6, pp. 1244–1247, 2013.
- [33] *Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000, Recommendation ITU-R M. 1225*, Std., 1997.

Performance Improvement on Signal Arrival Estimation by Compressive Sensing Angle Sparsity and Multisnap Samples

Peningkatan Kinerja Skema Estimasi Arah Kedatangan Sinyal dengan *Compressive Sensing* Sparsitas Sudut dan Sampel *Multisnap*

Koredianto Usman ^{*,1}, Andriyan Bayu Suksmono², Hendra Gunawan³

¹ Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia; Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung, Indonesia

² Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

³ Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Abstract

The development of compressive sensing has enabled many application solved using this technique. One of the application of compressive sensing in direction of arrival estimation techniques is reducing the number of samples of signals. There are three main schemes that utilized compressive sensing in direction of arrival estimation, namely: frequency sparsity technique, spatial sparsity technique, and angle sparsity technique. This research focuses on angle sparsity technique which is superior compared to other techniques in term of sample reduction and simplicity. Given those advantages, angle sparsity technique suffered in high noise environment. Especially, when SNR is less than 0 dB, this scheme produced estimation error of more than 5 degree. The estimation error grows unacceptable at SNR less than -5 dB where the estimation error is above 10 degree. A proposed method to mitigate this problem is to utilize multisnap samples. There are two multisnap schemes proposed here, which are simple multisnap and multisnap with outliers removal. Simulation results show that the estimation accuracy improves about 2 degree in SNR 0 dB and improve more than 10 degree in SNR -5 dB using simple multisnap. Outliers removal technique is further improve the accuracy, especially for SNR less than -5 dB.

keywords: Direction of Arrival Estimation, covariance matrix, Sparsity, Compressive Sensing, Matrix Completion

Abstrak

Perkembangan teknik *compressive sensing* beserta pemanfaatannya digunakan pada berbagai penyelesaian permasalahan. Salah satu pemanfaatannya yang dibahas di sini adalah untuk pengurangan sampel pada skema estimasi arah kedatangan sinyal. Secara umum terdapat tiga skema besar pemanfaatan teknik *compressive sensing* untuk estimasi arah kedatangan: skema sparsitas frekuensi, skema sparsitas spasial dan skema sparsitas sudut. Dari ketiga teknik ini, skema sparsitas sudut menjadi fokus pada penelitian ini karena keuntungannya dalam mengurangi sampel yang superior dibandingkan dengan dua skema lainnya. Keuntungan lain dari skema ini adalah kesederhanaannya. Kekurangan dari skema ini adalah sensitifitas terhadap *noise*. Pada lingkungan dengan *noise* tinggi dengan SNR kurang dari 0 dB, skema ini menderita kesalahan estimasi sudut di atas lima derajat. Tingkat kesalahan estimasi meningkat pada level yang tidak dapat lagi diterima untuk SNR kurang dari -5 dB. Peningkatan ketahanan terhadap *noise* yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan teknik *multisnap* sampel. Ada dua skema yang diusulkan yaitu teknik *multisnap* sederhana dan teknik *multisnap* dengan outliers removal. Hasil simulasi menunjukkan teknik *multisnap* sederhana meningkatkan akurasi sekitar 2 derajat pada SNR 0 dB. Pada SNR -5 dB terjadi peningkatan akurasi secara signifikan di atas 10 derajat. Pada teknik *multisnap* dengan *outliers removal* terjadi peningkatan akurasi lebih lanjut pada SNR kurang dari -5 dB.

kata kunci: Estimasi arah kedatangan sinyal, Matriks Kovariansi, Sparsitas, Compressive Sensing, Matrix Completion

1. PENDAHULUAN

Teknik sampling klasik didasarkan atas teorema Nyquist-Shannon yang menyatakan bahwa sinyal analog harus disampling dengan frekuensi sampling sekurang-kurangnya dua kali frekuensi tertinggi dari sinyal yang disampling agar dapat direkonstruksi

*Corresponding Author. Tel: +62-878-24836674

Email: koredianto.usman@students.itb.ac.id

Received: 28 Apr 2014; revised: 15 May 2014; accepted: 22 May 2014

Published online: 30 May 2014

© 2014 INKOM 2014/14-NO380

dengan sempurna [1], [2]. Persyaratan ini dipenuhi oleh hampir semua peralatan akuisisi digital modern. Teknik sampling yang didasarkan pada teorema Nyquist-Shannon ini direalisasikan pada umumnya dengan menggunakan sampling periodik dengan jarak antar sampel yang memenuhi teorema tersebut. Syarat Nyquist-Shannon ini sering menyebabkan proses akuisisi menjadi lama dan data hasil akuisisi menjadi sangat besar.

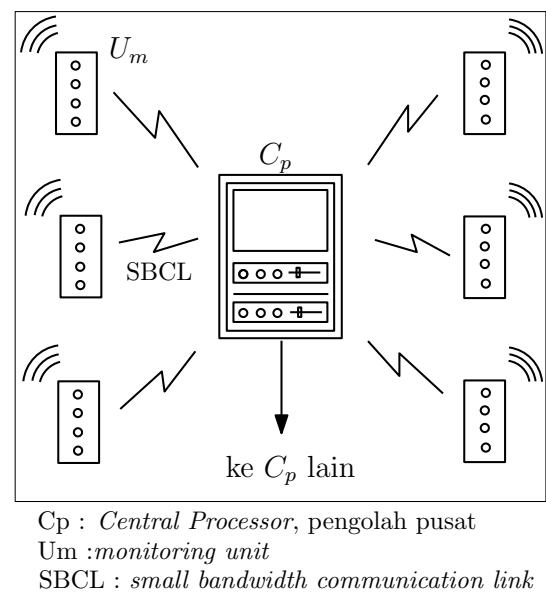
Pada beberapa jenis sinyal yang bersifat *sparse*, dimungkinkan untuk mensampling sinyal pada frekuensi yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan frekuensi minimal yang disyaratkan oleh teorema Nyquist-Shannon tersebut. Skema ini disebut dengan teknik *compressive sensing* [3], [4], [5]. Yang dimaksud dengan sinyal *sparse* itu sendiri adalah sinyal yang hanya memiliki sedikit elemen yang tidak bernilai nol, sedangkan mayoritas sisanya bernilai nol.

Pengurangan sinyal ini membawa keuntungan pada beberapa aplikasi antara lain pada bidang kompresi, *channel coding*, *inverse problem* dan akuisisi data [4]. Pada bidang akuisisi data medis misalnya, teknik *compressive sensing* memungkinkan untuk mengambil data medis dalam durasi yang singkat. Pengurangan waktu akuisisi ini adalah penting untuk data medis yang memerlukan pemaparan organ tubuh manusia terhadap sinar-x atau sinar berbahaya lainnya. Pengurangan data yang signifikan juga penting pada aplikasi telekomunikasi dengan *bandwidth* terbatas seperti daerah terpencil atau daerah dengan sumber listrik terbatas.

Pada penelitian ini, teknik *compressive sensing* digunakan untuk mengurangi sampel sinyal pada aplikasi estimasi arah kedatangan sinyal. Estimasi arah kedatangan sinyal adalah satu dari tiga tugas utama sistem radar. Dua tugas lainnya adalah estimasi jarak dan estimasi kecepatan objek. Estimasi arah kedatangan dewasa ini dilakukan dengan *array* antena pasif. Algoritma estimasi arah kedatangan sinyal termasuk bidang penelitian yang berevolusi sejak tahun 1960-an. Algoritma klasik yang terkenal antara lain adalah algoritma Capon [6], algoritma *delay and sum* (DAS) [7], algoritma MUSIC [8], algoritma ESPRIT [9].

Keterbatasan kemampuan dan kecepatan komputasi menyebabkan pengembangan algoritma klasik pada masa lalu diarahkan untuk mengurangi tingkat kompleksitas. Skema-skema baru muncul untuk menyederhanakan komputasi algoritma klasik antara lain adalah Unitary Root-MUSIC [10], Unitary ESPRIT [11], dan Beam-space ESPRIT [12]. Arah baru dalam pengembangan teknik estimasi arah kedatangan sinyal adalah dengan teknik pengurangan sampel. Pengurangan sampel ini pada

skema *distributed monitoring radar system* (DMRS) sangat penting dan strategis untuk diterapkan pada negara kepulauan seperti Indonesia. Gambar 1 menunjukkan konfigurasi sederhana dari sistem DMRS. Pada Gambar 1 tersebut, teknik *compressive sensing* yang diterapkan pada *monitoring unit* menghasilkan data kecil. Data kecil ini selanjutnya dikirim ke unit pengolah pusat (*central processor*) melalui saluran data telekomunikasi terbatas. Data yang diterima oleh unit pengolah pusat direkonstruksi kembali untuk memperoleh hasil monitor dari tiap-tiap lokasi *monitoring unit*.



Gambar 1. Skema Distributed Monitoring Radar System sederhana.

Terdapat tiga skema besar penerapan *compressive sensing* pada pengurangan sampel sistem estimasi arah kedatangan sinyal yaitu skema sparsitas frekuensi, sparsitas spasial, dan sparsitas sudut. Sparsitas frekuensi mengambil pendekatan bahwa sinyal yang datang memiliki lebar pita sempit atau pun *single frequency*. Penelitian yang mengambil asumsi ini antara lain adalah [13], [14], [15], dan [16]. Sparsitas spasial mengambil pendekatan berbeda yaitu bahwa sinyal yang diterima oleh satu antena pada *array* adalah sama dengan sinyal yang diterima oleh antena yang berdekatan dengannya, dengan perbedaan hanya pada *time delay*. Pendekatan sparsitas spasial ini diteliti antara lain pada [17] dan [18]. Pendekatan sparsitas sudut menggunakan asumsi bahwa sinyal yang datang pada *array* antena berasal dari sudut-sudut tertentu saja sesuai dengan banyaknya sumber. Skema ini dipelopori oleh Gorodnitsy dan Rao [19].

Skema sparsitas sudut memiliki keuntungan utama dari sisi pengurangan jumlah sampel yang ekstrim,

serta simplisitas. Skema sparsitas sudut yang ditawarkan pada [19] bahkan hanya menggunakan satu sampel sinyal saja untuk mengestimasi arah kedatangan sinyal. Meskipun keuntungan tersebut, skema sparsitas sudut yang ditawarkan pada [19] memiliki kekurangan utama yaitu sensitif terhadap *noise*. Pada kondisi SNR kurang dari 0 dB, galat estimasi akibat *noise* mencapai lebih dari lima derajat. Bahkan untuk SNR -5 dB, standar deviasi galat estimasi sudut mencapai lebih dari sepuluh derajat.

Kontribusi dari penelitian ini adalah skema perbaikan dari skema sparsitas sudut dengan menggunakan teknik *multisnap* sampel. Teknik *multisnap* mengurangi sensitivitas skema asal dengan cara menstatistikkan beberapa sampel sekaligus. Skema perbaikan ini lebih lanjut ditingkatkan dengan menambahkan *outliers removal* untuk mengurangi dampak dari hasil estimasi yang jauh menyimpang dari nilai sebenarnya. Pengurangan dampak ini akan lebih meningkatkan akurasi secara keseluruhan.

Penyampaian hasil penelitian pada makalah ini disusun sebagai berikut. Bagian 2 membahas tentang metodologi penelitian yang dilakukan. Bagian 3 menyampaikan tentang percobaan dan hasil-hasilnya. Bagian 4 memaparkan diskusi tentang hasil-hasil yang dicapai serta perbandingannya dengan skema-skema yang telah dilakukan oleh peneliti lain. Bagian 5 menyimpulkan paparan pada penelitian ini serta arah penelitian selanjutnya.

2. METODOLOGI

Formulasi skema sparsitas sudut diperoleh dengan menggunakan asumsi bahwa sumber sinyal jumlahnya terbatas dan datang pada sudut yang berbeda. Dengan asumsi ini, maka pemindaian sudut azimut dari rentang 0 sampai 180 derajat akan dihasilkan deteksi sinyal pada sudut-sudut tertentu yang berkorespondensi dengan sudut aktual kedatangan sinyal. Dengan demikian, pada formulasi persamaan *compressive sensing*

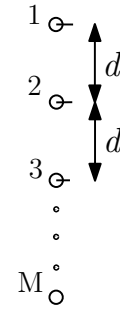
$$A \cdot x = b \quad (1)$$

matriks *sensing* A dipilih sebagai kumpulan *steering vector* yang berkorespondensi dengan sudut datang yang dipindai. Matrik *sensing* A dapat ditulis sebagai

$$A = [a_{\theta_1} \ a_{\theta_2} \ a_{\theta_3} \ \dots \ a_{\theta_N}]. \quad (2)$$

Vektor kolom a_{θ_1} adalah *steering vector* pada arah kedatangan sinyal θ_i . Selanjutnya, dengan asumsi bahwa susunan antenna adalah *uniformly linear array* (ULA), maka persamaan *steering vector* pada arah θ_i adalah

$$a_{\theta_i} = [1 \ e^{-j\delta} \ e^{-j2\delta} \ \dots \ e^{-j(M-1)\delta}]. \quad (3)$$



Gambar 2. Susunan *uniform linear array* (ULA) dari M antenna isotropis dengan jarak antar antenna d

Nilai δ menunjukkan beda fasa antara dua antenna yang bersebelahan. Pada ULA, beda fasa ini dihitung dengan

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d \cdot \sin(\theta_i). \quad (4)$$

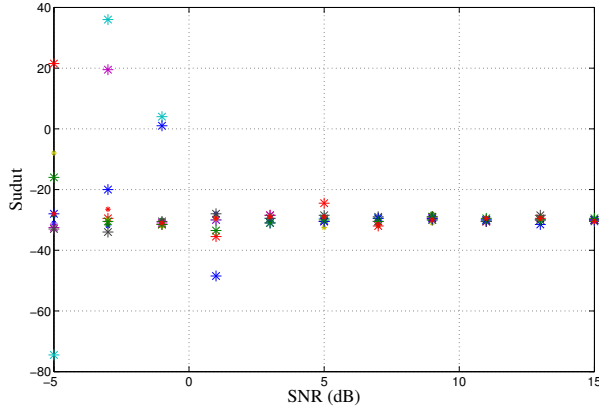
Pada Persamaan 4, d menyatakan jarak antar antenna pada ULA seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. Vektor b pada Persamaan 1 adalah vektor yang berasal dari *snapshot* dari sinyal yang diterima oleh tiap-tiap antenna pada waktu tertentu. Vektor x pada Persamaan 1 tersebut adalah vektor *sparse* yang akan dicari solusinya. Posisi tak nol pada vektor x mengindikasikan adanya sinyal yang datang pada arah tersebut. Oleh karena solusi dari Persamaan 1 adalah matrik *sparse* x , maka secara praktik, dengan menentukan posisi dari elemen tak nol pada matrik *sparse* x maka akan diperoleh sudut yang berkorespondensi. Sudut ini menjadi estimasi dari sinyal datang. Secara matematis, langkah ini dapat dinyatakan seperti Persamaan 5.

$$\theta = \text{supp}(x) \cdot r \quad (5)$$

dengan r adalah resolusi sudut pemindaian. Pemilihan r disesuaikan dengan tingkat akurasi yang diperlukan. Nilai tipikal dari r adalah 0,1 atau 1. Notasi $\text{supp}(\cdot)$ menyatakan *support* dari vektor yaitu indeks dari elemen tak nol di dalamnya.

Skema dari metode *compressive sensing* dengan skema sparsitas sudut ini, seperti yang telah disinggung sebelumnya, hanya menggunakan satu *snapshot* sampel saja. Skema ini dengan demikian memiliki tingkat kompresi yang sangat tinggi dibandingkan dengan teknik *compressive sensing* yang berbasis sparsitas frekuensi maupun sparsitas spasial. Namun demikian, skema ini memiliki tingkat sensitivitas terhadap *noise* yang tinggi. Gambar 3 memperlihatkan kinerja skema

compressive sensing sparsitas sudut dengan satu sampel. Pada percobaan ini, peran *noise* diwakili oleh SNR yang berkisar dari -5 sampai 15 dB. Sumber sinyal berada pada sudut kedatangan -30 derajat. Pada simulasi ini digunakan susunan antena ULA dengan 12 elemen dan jarak antar elemen sebesar setengah panjang gelombang.



Gambar 3. Performa skema *compressive sensing* dengan sparsitas sudut untuk satu *snapshot* sampel.

Pada setiap SNR dilakukan sepuluh kali percobaan, hasil estimasi sudut ditampilkan sebagai sumbu tegak pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa skema *compressive sensing* berbasis sparsitas spasial bekerja baik pada SNR di atas 5 dB. Sensitivitas terhadap *noise* ini terjadi karena skema tidak dapat mengantisipasi *noise* dengan hanya satu sampel [20]. Perbaikan dengan *multisnap* sampel diusulkan untuk mengantisipasi *noise* dengan menggunakan statistik dari sampel ke sampel. Perbaikan ini dilakukan pada vektor x dan b dari Persamaan 1. Gambar 4 menunjukkan skema yang diusulkan ini.

$$\begin{bmatrix} a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,\theta_x} & \dots & a_{1,360} \\ a_{2,0} & a_{2,1} & \dots & a_{2,\theta_x} & \dots & a_{2,360} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{M,0} & a_{M,1} & \dots & a_{M,\theta_x} & \dots & a_{M,360} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1k} \\ x_{21} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{M1} & \dots & x_{Mk} \end{bmatrix}$$

$\uparrow$ steering vector untuk sudut θ_x $\uparrow$ x $\uparrow$ b
 Nilai tak nol menunjukkan lokasi sudut keluaran antena k snapshot

Gambar 4. Skema *multisnap* sederhana

Pada Gambar 4 tersebut, skema asli dari skema sparsitas sudut diubah sehingga matrik b terdiri dari *multisnap* keluaran sekaligus. Matrik x juga diperluas untuk mengakomodasi *multisnap* dari matrik pengamatan b . Nilai tak nol pada hasil

rekonstruksi matrik *sparse* x yang menunjukkan arah sudut kedatangan terjadi pada posisi yang berbeda pada setiap kolom oleh karena *noise*. Dengan menggunakan informasi ini, akurasi dari estimasi sinyal dapat ditingkatkan dengan menstatistikkan hasil estimasi dari kolom-kolom ini. Dua cara estimasi dapat dilakukan seperti Persamaan 6 atau 7.

$$\theta_{est} = \max_{count_i}(\text{supp}(x_i) \cdot r) \quad (6)$$

atau

$$\theta_{est} = \frac{\sum \text{supp}(x_i) \cdot r}{N} \quad (7)$$

Terdapat beberapa cara untuk menyelesaikan permasalahan *compressive sensing* dengan *multisnap* sebagaimana yang dideskripsikan pada Gambar 4. Gorodnitsky dan Rao menggunakan teknik rekonstruksi berbasis pada algoritma Focal Underdetermined System Solver (FOCUSS). Namun skema ini sulit diterapkan pada multisnap sampel yang memerlukan deteksi paralel sekaligus. Pada penelitian ini digunakan skema *basis pursuit* (BP). Algoritma BP ini memiliki keunggulan pada kemampuannya yang menjamin konvergensi solusi serta fleksibilitas dalam menyelesaikan permasalahan *compressive sensing* dalam lingkungan ber-*noise* [10]. Terdapat beberapa paket program yang ditulis untuk rekonstruksi BP ini antara lain l_1 -magic dan CVX programming. CVX programming adalah salah satu program *convex programming* yang populer dalam rekonstruksi sinyal. Program ini sendiri telah digabungkan menjadi paket Matlab. Paket program lain yang dapat digunakan adalah dengan *optimization toolbox* pada Matlab. CVX programming digunakan pada penelitian ini karena fleksibilitas dan kapabilitasnya dalam menyelesaikan permasalahan *compressive sensing* dalam lingkungan ber-*noise*. Penyelesaian dengan CVX programming diberikan pada rutin berikut:

```

start_cvx
variable x complex;
minimize norm(x,1)
subject to abs(A*x-b) ≤ threshold.
end_cvx

```

Peningkatan akurasi tambahan diperoleh dengan membuang hasil estimasi yang jauh dari nilai sebenarnya. Gambar 3 memperlihatkan kinerja skema *compressive sensing* sparsitas sudut standar dengan satu sampel sebagai fungsi SNR. Pada SNR rendah, terdapat beberapa hasil estimasi sudut yang menyimpang jauh dari nilai aktual. Pendeteksian penyimpangan ini secara sederhana dilakukan dengan menerapkan nilai ambang (*threshold*). Ada banyak cara untuk menetapkan nilai ambang,

namun pada penelitian ini, nilai *threshold* diambil sebagai fungsi dari standard deviasi sudut estimasi (Persamaan 8).

$$\Delta = g \cdot \sigma. \quad (8)$$

Pada Persaman 8, Δ adalah *threshold*, σ adalah standard deviasi dari sudut estimasi dan g adalah suatu konstanta. Nilai g ditentukan secara empiris.

3. SIMULASI

3.1 Simulasi skema asli

Pada bagian ini akan disimulasikan terlebih dahulu skema *compressive sensing* skema sparsitas sudut asli dengan satu sampel. Kinerja dari skema diukur dengan menggunakan tingkat kedekatan antara sudut kedatangan sinyal hasil estimasi dengan sudut kedatangan sebenarnya. Standar deviasi digunakan sebagai ukuran kedekatan tersebut. Untuk keperluan penilaian kinerja, digunakan dua skema estimasi arah kedatangan klasik tanpa *compressive sensing* yaitu MVDR [6] dan MUSIC [8] serta skema *compressive sensing* sparsitas sudut standar sebagai referensi.

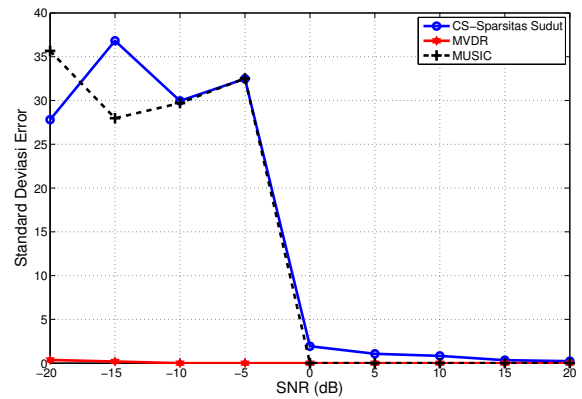
Pengaturan lingkungan simulasi adalah sebagai berikut:

- jumlah antenna : 12,
- jumlah sumber : 1,
- sudut kedatangan sumber sinyal : -30 derajat,
- frekuensi kerja : 300 MHz,
- jarak antar antenna : 0,5 panjang gelombang.

Hasil perbandingan terlihat pada Gambar 5. Pada gambar tersebut, terlihat bahwa performa dari algoritma klasik MVDR sangat superior dibandingkan dengan skema *compressive sensing* sparsitas sudut. Pada SNR -5 dB, kesalahan estimasi skema *compressive sensing* sparsitas sudut adalah di atas 10 derajat, sedangkan skema MVDR skema klasik MVDR tidak lebih dari 1 derajat. Ada pun skema MUSIC pada SNR rendah adalah hampir sama dengan skema *compressive sensing*. Hanya pada SNR lebih besar dari 0 skema MUSIC berhasil mendeteksi dengan hampir sempurna.

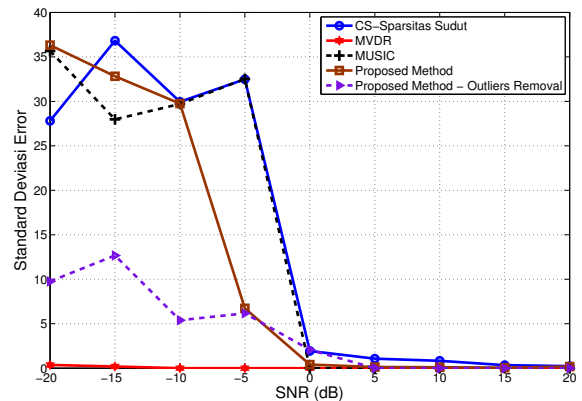
3.2 Simulasi skema yang diusulkan

Skema *multi-snap* adalah skema yang berdasarkan pada ekstensi skema satu sampel dengan menggunakan beberapa sampel. Pada simulasi yang diujicobakan, skema *multisnap* sederhana yang diterapkan menggunakan 20 sampel sinyal. *Setting* simulasi dilakukan dengan parameter yang sama dengan percobaan sebelumnya. Untuk simulasi sistem *multisnap* sampel dengan outliers removal, jumlah sampel yang digunakan juga



Gambar 5. Perbandingan kinerja skema yang diusulkan dengan skema klasik dan skema *compressive sensing* sparsitas sudut standard

sama yaitu 20. Nilai g pada Persamaan 8 adalah 1. Semua hasil simulasi dirangkum pada Gambar 6. Hasil simulasi menunjukkan adanya perbaikan performa dibandingkan dengan skema satu sampel. Untuk SNR lebih dari 0 dB, skema *multisnap* sederhana menunjukkan tingkat akurasi yang sama baik dengan algoritma MUSIC dan MVDR. Skema *outliers removal* memberikan tambahan perbaikan pada SNR kurang dari -5 dB, namun masih kalah dengan skema *multisnap* sederhana untuk SNR di atas 0 dB.



Gambar 6. Perbandingan skema yang diusulkan dengan skema klasik dan skema *compressive sensing* sparsitas sudut standard.

4. DISKUSI

Teknik *compressive sensing* dengan skema sparsitas sudut yang diperkenalkan oleh Gorodnitsky dan Rao pada tahun 1997 memberikan arah baru pada eksploitasi teknik estimasi arah kedatangan sinyal. Seperti yang dipaparkan pada paper

klasik tersebut [19], teknik ini memberikan keuntungan pada sedikitnya sampel yang diperlukan untuk menentukan arah kedatangan sinyal. Keuntungan lain dari skema ini, seperti halnya skema *compressive sensing* pada umumnya, adalah ketajaman resolusi. Resolusi ini jauh lebih tajam dari pada skema klasik [13]. Potensi penelitian ini dapat diujicobakan pada skema lain sebagai seperti pada sensing dasar laut. Kumar et al. [15] menggunakan teknik *compressive sensing* untuk pemetaan laut dangkal. Konduktivitas air laut menyebabkan penurunan amplitudo sinyal yang dapat menyebabkan SNR sinyal yang tiba pada sensor *array* penerima menjadi rendah. Di sisi lain, pemetaan dasar laut yang luas memerlukan proses pemindaian yang *mobile* sehingga data kecil sangat membantu proses pemindaian di setiap titiknya. Penelitian lain pada yang dapat mengambil manfaat dari teknik ini adalah sistem dengan jumlah sensor sangat besar. Ramasamy et al. [21] menggunakan teknik *compressive sensing* untuk *steerable* antena dengan 1.024 elemen. Penelitian tersebut menggunakan 24 sampel untuk melakukan rekonstruksi dari *compressive sensing*. Hasil tersebut sebanding dengan teknik *multisnap* yang diusulkan yaitu antara 4 sampai 20 sampel. Pada kenyataannya keunggulan utama dari teknik *compressive sensing* terletak pada pengurangan sampel, sedangkan kecepatan komputasi secara relatif tidak menjadi kekuatan dari teknik *compressive sensing*. Perhitungan berat pada *compressive sensing* pada umumnya terjadi pada bagian rekonstruksi. Oleh karena itu, potensi penggunaan *compressive sensing* adalah pada aplikasi yang memiliki keterbatasan *bandwidth* atau sebab khusus seperti pada aplikasi medis.

5. KESIMPULAN

Pada paper ini telah dipaparkan skema perbaikan dari teknik *compressive sensing* sparsitas sudut untuk estimasi arah kedatangan berbasis *multisnap* sampel. Dua skema yang dipaparkan adalah *multisnap* sederhana dan *multisnap* dengan *outliers removal*. Kedua skema ini diusulkan sebagai perbaikan dari skema *compressive sensing* sparsitas sudut standard yang memiliki keunggulan pada sedikitnya jumlah sampel namun sensitif terhadap *noise*. Penambahan jumlah sampel dapat mengurangi efektifitas *compressive sensing* itu sendiri, namun dibandingkan dengan skema klasik yang mengikuti teorema Nyquist-Shannon, sampel yang diperlukan pada skema perbaikan ini masih jauh lebih sedikit. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memacu penelitian lanjutan untuk memperoleh skema *compressive sensing* serupa serta varian lainnya yang *robust* terhadap

noise namun masih mempertahankan keunggulan *compressive sensing*. Arah lainnya adalah investigasi matematika yang dapat menghasilkan skema universal *compressive sensing* untuk estimasi arah kedatangan sinyal.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Yayasan Pendidikan Telkom serta Kementerian Pendidikan Nasional melalui Dirjen Pendidikan Tinggi atas dukungan dana penelitian melalui Beasiswa Pendidikan Pasca Sarjana Dalam Negeri 2013-2014.

Daftar Pustaka

- [1] H. Nyquist, "Certain topics in telegraph transmission theory," *Transaction of AIEE*, vol. 47, p. 617644, Apr. 1928.
- [2] C. E. Shannon, "Communication in the presence of noise," *Proceeding of Institute of Radio Engineers*, vol. 37, no. 1, Jan 1949.
- [3] D. L. Donoho, "Compressed sensing," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 52, no. 4, April 2006.
- [4] E. Candes and M. B. Wakin, "Compressive sampling," *Proceedings of the International Congress of Mathematicians, Madrid, Spain*, 2006.
- [5] R. Baraniuk, "Compressive sensing," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 24, Jul 2007.
- [6] J. Capon, "High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis," *Proceedings of the IEEE*, vol. 57, no. 8, pp. 1408–1418, Aug 1969.
- [7] S. Applebaum, "Adaptive arrays," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 24, no. 5, pp. 585–598, Sep 1976.
- [8] R. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 34, no. 3, pp. 276–280, Mar 1986.
- [9] R. Roy, A. Paulraj, and T. Kailath, "Estimation of signal parameters via rotational invariance techniques esprit," *Proceeding of IEEE Military Communications (MILCOM) Conference - Communications*, vol. 3, Oct 1986.
- [10] M. Pesavento, A. B. Gershman, and M. Haardt, "Unitary root-music with a real-valued eigendecomposition: A theoretical and experimental performance study," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 48, no. 5, May 2000.
- [11] M. Haardt and J. Nosske, "Unitary esprit: How to obtain increased estimation accuracy with a reduced computational burden," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 43, no. 5, May 1995.
- [12] G. Xu, S. D. Silverstein, R. H. Roy, and T. Kailath, "Beamspace esprit," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 42, no. 2, Feb 1994.
- [13] A. C. Gurbuz and J. H. McClellan, "A compressive beamforming method," *Proceeding of the IEEE*

- International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2008.
- [14] A. Satheesh, B. Deepa, S. Bhai, and D. Anjana, "Compressive sensing for array signal processing," in *Proceeding of IEEE INDICON*, 2012.
 - [15] N. S. Kumar, D. J. Philip, and C. Bhattacharya, "Doa estimation using compressive beamforming in shallow ocean using acoustic vector sensors," in *Proceeding of IEEE Indicon*, 2012.
 - [16] Y. Chen, J. Huang, and C. He, "High resolution direction-of-arrival estimation based on compressive sensing with noval compression matrix," in *Proceeding of IEEE International Conference on Signal Processing, Communication, and Computing*, 2012.
 - [17] Y. Wang, G. Leus, and A. Pandharipande, "Direction estimation using compressive sampling array processing," in *Proceeding of IEEE SSP*, 2009.
 - [18] Y. Wang and G. Leus, "Space-time compressive sampling array," in *Proceeding of IEEE Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop*, 2010.
 - [19] I. F. Gorodnitsky and B. D. Rao, "Sparse signal reconstruction from limited data using focuss: A re-weighted minimum norm algorithm," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 45, no. 3, March 1997.
 - [20] S. M. Kay, *Statistical Signal Processing - Volume 1 : Estimation Theory*. Englewood Cliff, 1998.
 - [21] U. M. Dinesh Ramasamy, Sriram Venkateswaran, "Compressive adaptation of large steerable arrays," in *Proceeding of Information Theory and Applications Workshop (ITA)*, 2012.

Parallel Algorithms for Spatial Rainfall Distribution

Algoritma Paralel untuk Distribusi Spasial Curah Hujan

Arnida L Latifah *, Adi Nurhadiyatna

Research Center for Informatics
Indonesian Institute of Sciences
Komplek LIPI, Jl Cisitua No 21/154D Bandung
Indonesia

Abstract

This paper proposes parallel algorithms for precipitation of flood modelling, especially applied in spatial rainfall distribution. As an important input in flood modelling, spatial distribution of rainfall is always needed as a pre-conditioned model. In this paper two interpolation methods, Inverse distance weighting (IDW) and Ordinary kriging (OK) are discussed. Both are developed in parallel algorithms in order to reduce the computational time. To measure the computation efficiency, the performance of the parallel algorithms are compared to the serial algorithms for both methods. Findings indicate that: (1) the computation time of OK algorithm is up to 23% longer than IDW; (2) the computation time of OK and IDW algorithms is linearly increasing with the number of cells/ points; (3) the computation time of the parallel algorithms for both methods is exponentially decaying with the number of processors. The parallel algorithm of IDW gives a decay factor of 0.52, while OK gives 0.53; (4) The parallel algorithms perform near ideal speed-up.

keywords: rainfall, Inverse distance weighting, Ordinary kriging, parallel algorithm

Abstrak

Tulisan ini menyajikan mengenai algoritma paralel untuk presipitasi dalam model banjir, khususnya diaplikasikan dalam distribusi spasial untuk data curah hujan. Sebagai salah satu masukan penting dalam pemodelan banjir, distribusi spasial dari presipitasi selalu diperlukan sebagai pre-model banjir. Dalam paper ini, dua metode interpolasi yaitu Inverse Distance Weighting (IDW) dan Ordinary Kriging (OK) akan dibahas. Kedua metode tersebut akan dikembangkan dalam algoritma paralel dengan tujuan untuk mengurangi waktu komputasi. Untuk mengukur efisiensi komputasi, hasil komputasi dengan algoritma paralel akan dibandingkan dengan versi serial algoritma. Tulisan ini menyimpulkan bahwa (1) waktu komputasi algoritma OK lebih lama hingga 23% daripada IDW; (2) waktu komputasi dari kedua algoritma tersebut meningkat secara linier terhadap jumlah titik; (3) algoritma paralel dari kedua metode menurunkan waktu komputasi secara exponential terhadap jumlah prosessor yang digunakan dengan faktor penurunan 0.52 untuk IDW and 0.53 untuk OK; (4) Kedua algoritma paralel menunjukkan speed-up yang hampir ideal.

kata kunci: Curah hujan, Inverse distance weighting, Ordinary kriging, Algoritma paralel

1. INTRODUCTION

The spatial distribution of precipitation is one key input data for hydrological model, such as flood model. In flood modelling, precipitation plays an important role as the source term ([1], [2]). The radar measurement and rain gauge measurement may present the precipitation data at some locations, but the full data of the spatial distribution of the

precipitation in a large area is still limited. There are two ways to produce the spatial distribution of the precipitation by interpolation of the limited measured data; conventional method and geo-statistical method. Spatial data often face a problem in the numerical computation. To compute the spatial distribution of the precipitation in a large area or in a fine grid, huge data will be produced and a high computing power must be needed. One potential way to deal with it is executing the algorithm of the methods in parallel architecture, which should increase the computation efficiency. According to [3], the parallel architecture may be one of SIMD (Single Instruction Multiple Data), MISD (Multiple Instruction Single Data), MIMD

*Corresponding Author. Tel: +62 22 2504711

Email: arni001@lipi.go.id

Received: 22 Mar 2014; revised: 1 May 2014; accepted: 22 May 2014

Published online: 30 May 2014

© 2014 INKOM 2014/14-NO383

(Multiple Instruction Multiple Data), and SIMD-MIMD architectures.

In this paper we discuss two interpolators to compute the spatial distribution of the precipitation, one conventional method namely Inverse Distance Weighting and one geo-statistical method namely Ordinary Kriging. Implementation of these interpolators can be found in the studies of ([4], [5], [6]). In addition, we implement the methods for data of rainfall measurements at some rain gauges in Jakarta area and surroundings.

Recent study of [7] also implements IDW method in parallel algorithm. The paper measures the speed up of the algorithm performance in GPU versus CPU. References [8], [9] and [10] implement Kriging method on high performance computing. The paper of [8] analyze the computation time of the parallel Kriging algorithm according to the size of the known points and to the size of the target spatial area. It is quite similar to the study of [9] that the parallel performance was conducted because of the huge size of the known points. Different from these studies, we aim to compare the parallel and the serial algorithms and we analyze the computation time of the parallel algorithms according to the increasing number of computer cores. Study of [11] proposed a parallel algorithm of IDW using MIMD parallel processing environment. In this paper the algorithms are written via scripts in the Python language and we propose SIMD construction in Message Passage Interface program for Python. Some applications of parallel computing using SIMD environment can be found in many subjects ([12], [13], [14]).

The outline of this paper is divided into five sections, started by Introduction which covers the motivation and background. Second section presents the materials and methods used in this paper. There is also brief description about Inverse Distance Weighting and Ordinary Kriging. An overview about the methods are presented for the benefit for the readers who are not familiar with the methods. The serial algorithm for both methods are also presented. In the third section, the proposed parallel algorithms are discussed. Results and analysis are presented in the fourth section. Finally, the last section delivers conclusion and some recommendations.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Data set

We chose area of Jakarta, the capital of Indonesia and surrounding as the study case with area approximately $900[km^2]$. The data of the rainfall rate measurement were taken from 14 rain gauge stations on 13 January 2014 as presented in Table I. The first eleven data in Table I were collected from the Buletin BMKG, January 2014 [15]. The last

three data (Pasar Minggu, Halim, Kedoya) are cited from the official website of BMKG [16].

Table I. Sample data of rainfall rate

No	Station	Position		Rate [mm/day]
		x^0E	y^0S	
1	Karet	106.81	-6.19	48
2	Istana	106.84	-6.18	69
3	Tomang Barat	106.88	-6.24	55
4	Pulo Gadung	106.90	-6.19	62
5	Pakubuwono	106.79	-6.24	90
6	Pondok Betung	106.76	-6.25	81.6
7	Lebak Bulus	106.77	-6.29	128
8	Kemayoran	106.85	-6.18	79
9	Tanjung Priok	106.89	-6.13	50
10	Cengkareng	106.70	-6.14	16
11	Depok	106.75	-6.40	122
12	Pasar Minggu	106.89	-6.26	100
13	Halim	106.75	-6.18	104.2
14	Kedoya	106.84	-6.29	69.5

2.2 Hardware

The parallel algorithms were conducted in a computer cluster provided by Research Center for Informatics, Indonesian Institute of Sciences, with the following specifications;

- 16 nodes
- 2 processors per node, 4 cores per processor
- Dual Intel Xeon E5-2609 2,4 GHz
- 8 GB RAM DDR3-1600
- 500 GB HD SATA
- Dual Gigabit interconnection
- NVIDIA Tesla M2075 GPGPU
- Linux (CentOS)

Moreover we only investigate the numerical computation with the working nodes up to 4 as the computation needs 25 cores.

2.3 Inverse Distance Weigthing

Inverse distance weighting (IDW) is one simplest conventional interpolator to estimate the precipitation distribution. This interpolator assumes that the nearby values will contribute more to the estimated (unknown) values than the distant observations [17]. Consequently, the measured points are always maximum than the surrounding (the intensity of rainfall around the measured points is always larger); this behaviour is known as a bull eye's effect . Furthermore we will work on the algorithm of IDW power 2 under assumption that all the measured data give influences to the unknown points, even though the measured data are far away from the unknown points. Basically, IDW works

by a weight function that is functioned of distance between the unknown points and the measured points (square of distance is used for IDW power 2).

For given a set of N measured points, $(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_N)$, with corresponding precipitation data, $(u_1, u_2, \dots, u_N)$, IDW estimates the precipitation at the unknown points $\mathbf{y}$ by the following algorithm:

for each $\mathbf{y}$

$$\lambda_j(\mathbf{y}) = \frac{1}{|\mathbf{y} - \mathbf{x}_j|^2}$$

$$u^*(\mathbf{y}) = \frac{1}{\sum_{j=1}^N \lambda_j(\mathbf{y})} \sum_{j=1}^N (\lambda_j(\mathbf{y}) u_j)$$

The variable $\lambda_j(\mathbf{y})$ denotes the weight function, while $u^*(\mathbf{y})$ is the estimated precipitation at points $\mathbf{y} \neq \mathbf{x}_j$. The term of $\frac{1}{\sum_{j=1}^N \lambda_j(\mathbf{y})}$ is generally functioned to normalize the weight function, so that the weight function will be restricted in $[0, 1]$.

2.4 Ordinary Kriging

The best known geo-statistical interpolator is Ordinary Kriging [18]. This method is commonly used in geophysics community. It involves a stochastic pre-model to estimate the precipitation distribution. This interpolator is also based on weighted linear combination of the measured data as in IDW. In Ordinary kriging (OK), the weight function depends on the stochastic pre-model, so-called semivariogram model. The semivariogram model is chosen according to the experimental semivariogram computed from the measured data. It is a function of distance between two points. The best fit model is chosen as the empirical semivariogram. It could be one of the spherical, exponential or gaussian function. Meanwhile, the experimental semivariogram, γ_{ij} , is defined mathematically by the following expression:

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{2N(h)} \sum_{n=1}^{N(h)} E [|u_n - u_{n+h}|^2] \quad (1)$$

in which $N(h)$ denotes the number of points separated by the same distance h . If the empirical semivariogram has been chosen, we first compute the pre-model as below,

$$\tilde{\gamma}_{ij} = \tilde{\gamma}(|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j|)$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \tilde{\gamma}_{11} & \cdots & \tilde{\gamma}_{1N} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{\gamma}_{N1} & \cdots & \tilde{\gamma}_{NN} & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

then the estimation of the precipitation is then computed by the following algorithm:

for each $\mathbf{y}$

$$\tilde{\gamma}_{i0} = \tilde{\gamma}(\mathbf{x}_i - \mathbf{y})$$

$$\lambda(\mathbf{y}) = \begin{bmatrix} \lambda_1(\mathbf{y}) \\ \vdots \\ \lambda_N(\mathbf{y}) \\ \mu \end{bmatrix} = \mathbf{M}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{\gamma}_{10} \\ \vdots \\ \tilde{\gamma}_{N0} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$u^*(\mathbf{y}) = \sum_{j=1}^N (\lambda_j(\mathbf{y}) u_j)$$

The function $\tilde{\gamma}_{ij}$ is a function chosen as the empirical semivariogram model. The variable μ inside matrix $\mathbf{M}$ denotes the estimation error for each unknown point, which we will not discuss further in this paper.

3. PARALLEL ALGORITHMS

We propose two parallel algorithms of precipitation distribution based on Inverse distance weighting and Ordinary Kriging. The proposed parallel algorithms use single instruction multiple data (SIMD) construction. Spatial data is arranged in 2D manner. Let us assume the algorithms uses $\ell = p^2$ cores. Then, the spatial domain is subdivided into ℓ 2D-subarea. Each core is given an index number i from 0 to $\ell - 1$ as shown in Figure 5 and computes the precipitation for subarea i . To simplify the parallel algorithms we divide the grid of the x -coordinate and y -coordinate with the same value. In other words, the area is divided quadratically, so we choose square numbers for the number of cores. We executed the parallel algorithms for both methods with 1, 4, 9, 16, and 25 cores.

Basically the parallel algorithms for IDW and OK are similar. The first step of the parallel algorithms for both methods is sharing the measured points and its precipitation data. Then, each core computes locally the estimated data of the unknown points. One additional step in parallel version for OK is that it needs pre-computation for computing matrix $\mathbf{M}^{-1}$ before the local computation. As the matrix is a function of distance between two measured points, there will be problematic when the number of measured points are getting larger. The numerical computation of the inverse matrix will be very costly, then it should be in parallel computing as suggested by [9]. Nevertheless, in this paper we do not apply a

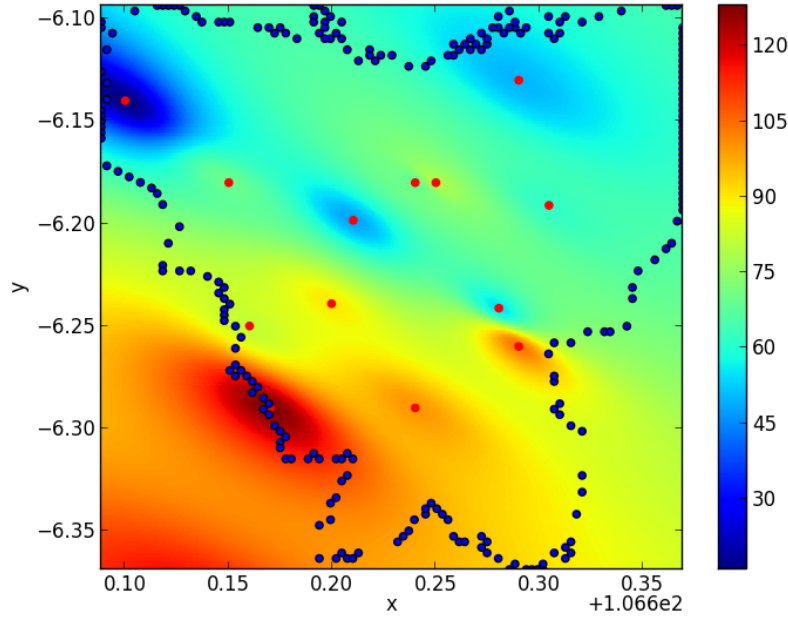


Figure 2. The experimental semivariogram model (dots) and empirical semivariogram models (solid line). The blue line shows the exponential model with $S = 1000$ and $R = 20$. The green line shows the exponential model with $S = 4000$ and $R = 20$.

$p(p-1)$	$p(p-1)+1$					p^2-1
p	$p+1$					$2p-1$
0	1					$p-1$

Figure 1. The 2D spatial data is subdivided into $\ell = p^2$ subareas indexed by 0 to $\ell - 1$.

parallel algorithm in computing the inverse matrix as our measured points are few. We use a numpy library in Python for computing the inverse matrix.

4. RESULTS AND ANALYSIS

We computed the semivariogram model from the measured data and then we find the best fit empirical

model. The experimental semivariogram is shown in Figure 2 together with the empirical semivariogram. According to the plots the covariance between the measured points are quite robust. Consequently, it is difficult to choose the best empirical model which represents the behaviour of the sample data. Nevertheless, we choose exponential model as the empirical semivariogram with the sill $S = 4000$ and the range $R = 20$. Sill is the maximum variance and range is the distance after which the correlation is zero. The empirical semivariogram model is formulated by

$$\tilde{\gamma}(d) = S \left(1 - \exp \left(\frac{-3d}{R} \right) \right)$$

with d is the distance in $[km]$.

Both methods generally give similar spatial rainfall distribution. We show the results in the density plots in Figure 4. The bull's eye effect could be observed in the spatial rainfall distribution by IDW.

We compare the time consumption for the numerical computation of IDW and OK. We also observe the time consumption of the algorithms with increasing number of the points/ cells. It is also presented in Table II.

Tabel II shows that the computation time for OK is longer than IDW approximately up to 23%. This

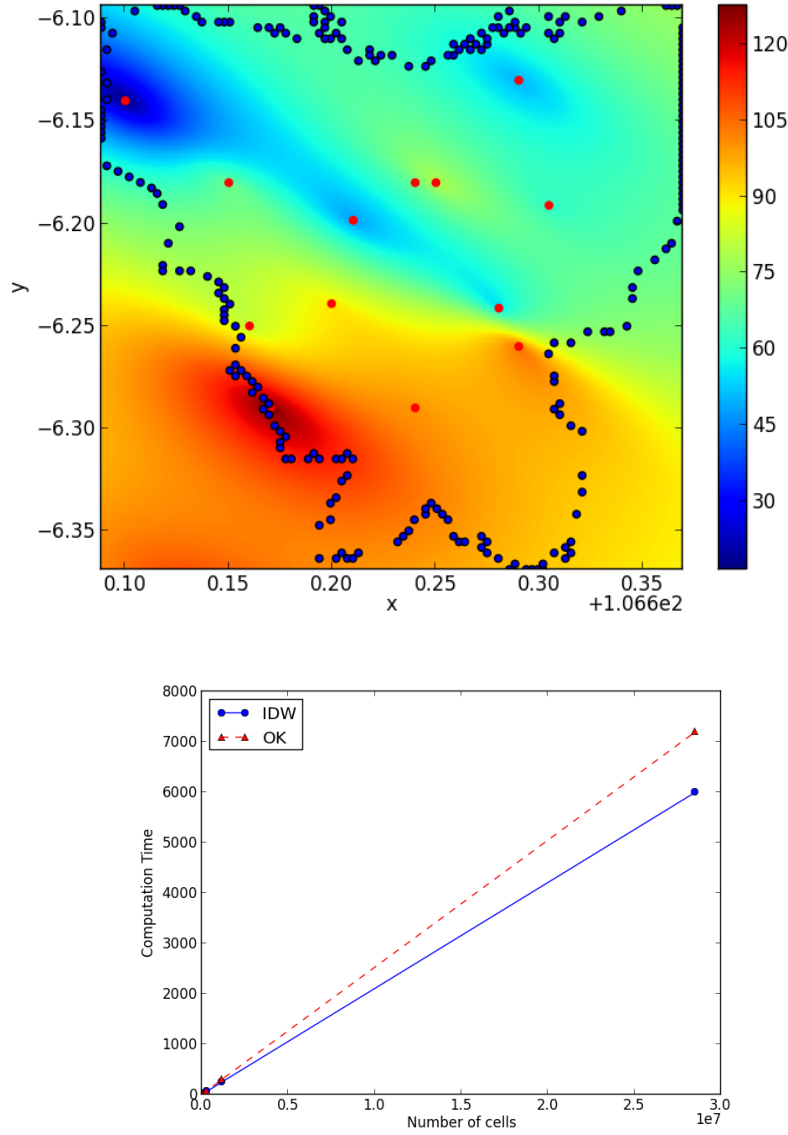


Figure 3. The upper plot is the spatial rainfall distribution computed by Ordinary Kriging and the lower plot is the spatial rainfall distribution computed by Ordinary Kriging. The red-dots show the measured points and the blue-dots form the boundary of Jakarta area.

Table II. Computation time using serial algorithm of IDW and OK

Cell size [m^2]	Number of cells	Computation time [s]	
		IDW	OK
1000x1000	2.85E+3	0.61	0.74
500x500	1.14E+4	2.39	2.93
250x250	4.56E+4	9.85	11.66
100x100	2.85E+5	59.46	73.23
50x50	1.14E+6	244.83	295.23
10x10	2.85E+7	5994.36	7191.68

is understandable as the weight function for OK's algorithm is not as simple as IDW. It needs a

prior computation for the function $\tilde{\gamma}_{i0}$ in each loop. In addition we observe that the computation time (*Comp.time*) is linearly increasing with the number of the cells and is inversely proportional to the cell size (see Figure 4);

$$Comp.time \sim \#cells \sim \frac{1}{cell\ size}$$

In the parallel computations, we analyze the time consumption for IDW and OK's algorithms with increasing number of cores (see Table III). As we do the computation in multi-cores we average the computation time from all cores. The result

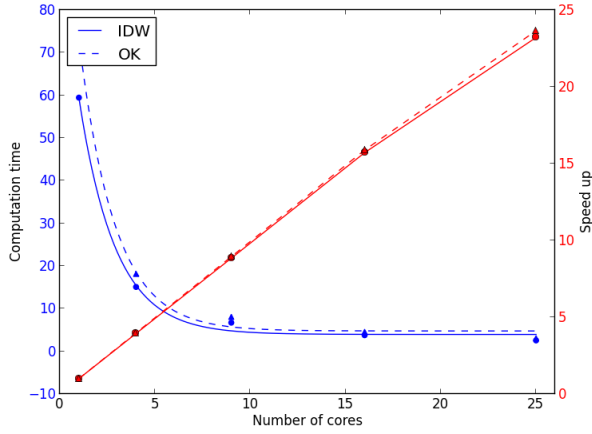


Figure 4. Comparison of the computation time of the serial algorithm of IDW and OK.

is described in Figure 5. From the five different numbers of cores, the computation time shows an exponential decay, therefore we approximate their behaviour by exponential fitting (see Figure 5).

Table III. Computation time using parallel algorithm of IDW and OK with cell size of $100 \times 100 [m^2]$

# cores	Computation time [s]		Speed up	
	IDW	OK	IDW	OK
1	59.46	73.23	1.00	1.00
4	15.09	18.14	3.94	3.98
9	6.72	8.07	8.84	8.94
16	3.78	4.55	15.71	15.88
25	2.56	3.05	23.21	23.65

From the exponential fitting, the time consumption (denoted by $T(\ell)$) for IDW's algorithm computation is decaying exponentially by the following formula;

$$T(\ell) = 93.68e^{-0.52\ell} + 3.96$$

Meanwhile OK's algorithm decays by the formula below;

$$T(\ell) = 116.63e^{-0.53\ell} + 4.77$$

The values of 0.52 in IDW and 0.53 in OK are their decay factor. The larger the factor, the faster the computation time decreases.

Moreover we also evaluate the performance of the parallel algorithms by measuring speed up of both algorithms (see Table III). Speedup of a parallel computation is defined as the ratio between the sequential time and the parallel time to solve the same problem. We present the speed up curve in Figure 5. The speed up of both IDW and OK parallel algorithms are approximately the same. They are near ideal (linear) speed-up. It shows that

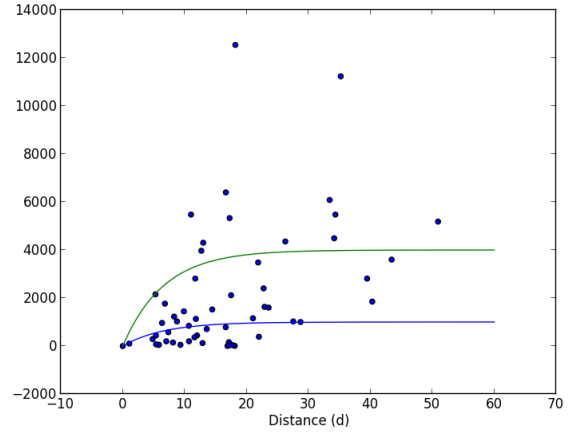


Figure 5. The blue lines represent the computation time and the red lines present the speed up of both parallel algorithms with respect to the number of computer cores. The solid line corresponds to IDW and the dashed-line corresponds to OK.

the additional computer cores are effectively used by both algorithms in the SIMD environment. The inefficiency must be caused by the inter-processor communication and synchronization in the computer cluster. This result agrees well to the study of [11] which also obtained near linear speed-up.

5. CONCLUSIONS

This paper investigated the parallel algorithms of Inverse Distance Weighting and Ordinary Kriging. These two algorithms were implemented to compute the spatial rainfall distribution. The computation time of Ordinary Kriging takes longer time up to 23% than Inverse Distance Weighting. This is understandable as the weight function of Ordinary Kriging needs a multiplication matrix in the algorithm. Nevertheless, our proposed parallel algorithms efficiently reduce the computational time and the additional computer cores in the computation is effectively used by the parallel algorithms in the SIMD architecture. One limitation of our proposed parallel algorithms is that the number of cores are restricted by square numbers.

The time consumption for the parallel algorithms are exponentially decaying with the number of working cores. The decay factor is 0.52 for IDW and 0.53 for OK. This concludes that the parallel algorithm of OK reduces a little faster than IDW. For a large measured data, the computation of inverse matrix in the algorithm of OK might be very costly. Consequently, the parallel algorithm of OK presented in this paper might need to be improved.

Acknowledgment

We acknowledge to Research Center for Informatics, Indonesian Institute of Sciences (LIPI) for the high performance computing facilities, <http://grid.lipi.go.id>.

Daftar Pustaka

- [1] M. C. Acreman, "A simple stochastic model of hourly rainfall for farnborough, england," *Hydrological Sciences*, vol. 35, no. 2, pp. 119–148, 1990.
- [2] K. J. Beven, "On hypothesis testing in hydrology," *Hydrological Process*, vol. 15, no. 9, pp. 1655–1657, 2001.
- [3] S. H. Roosta, *Parallel Processing and Parallel Algorithm, Theory and Computation*. Springer-Verlag, 2000.
- [4] N. Khorsandi, M. H. Mahdian, E. Pazira, D. Nikkami, and H. Chamheidar, "Comparison of different interpolation methods for investigating spatial variability of rainfall erosivity index," *Pol. J. Environ. Stud.*, vol. 21, no. 6, pp. 1659–1666, 2012.
- [5] A. D. Piazza, F. L. Conti, L. Noto, F. Viola, and G. L. Loggia, "Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for sicily, italy," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 13, no. 3, pp. 396–408, 2011.
- [6] Z. P. Liu, M. A. Shao, and Y. Q. Wang, "Large-scale spatial interpolation of soil ph across the loess plateau, china," *Environment Earth Sci*, vol. 69, pp. 2731–2741, 2013.
- [7] G. Mei, "Evaluating the power of gpu acceleration for idw interpolation algorithm," *The Scientific World Journal*, 2014.
- [8] K.E.Kerry and K.A.Hawick, "Kriging interpolation on high-performance computers," in *Proceeding of the International Conference and Exhibition on High-Performance Computing and Networking Europe*, 1998, pp. 429–438.
- [9] W. Zhuo, Prabhat, C. Paciorek, C. Kaufman, and W. Bethel, "Parallel kriging analysis for large spatial datasets," in *IEEE 11th International Conference on Data Mining Workshop*, 2011, pp. 38–44.
- [10] J. Morrison, "Kriging in a parallel environment," *Geomatics for informed decisions:GEOIDE*, 2000.
- [11] M. Armstrong and R. Marciano, "Parallel spatial interpolation," in *In Proceedings of the 11th International Symposium on Computer Assisted Cartography*, 1993, pp. 414–423.
- [12] e. S.M.Bhandarkar, "Parallel computing of physical maps—a comparative study in simd and mimd parallelism," *J. Compu. Biol.*, vol. 3, no. 4, pp. 503–28, 1996.
- [13] L. H. Jamieson, P. T. Mueller, and H. J. Siegel, "Fft algorithms for simd parallel processing systems," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 3, pp. 48–71, 1986.
- [14] R. H. Andrea Di Bias, Arun Jagota, "Optimizing neural networks on simd parallel computers," *Parallel Computing*, vol. 31, no. 1, pp. 97–115, 2005.
- [15] "Buletin BMKG, Analisis Hujan Bulan Januari 2014," Stasiun Klimatologi Pondok Betung, Jl. Raya Kodam Bintaro no.82 Jakarta Selatan 12070, Tech. Rep., 2014.
- [16] A. Zakir and M. Budiarti, *Mungkinkah banjir besar lagi di Jakarta*. Available: http://bmkg.go.id/bmkg-pusat/lain_lain/artikel, 2014.
- [17] M. Azpurua and K. D. Ramos, "A comparison of spatial interpolation methods for estimation of average electromagnetic field magnitude," *Progress In Electromagnetics Research M*, vol. 14, pp. 135–145, 2010.
- [18] U. Haberlandt, *Flood Risk Assessment and Management*. Springer Science+Business Media B.V., 2011, ch. Interpolation of Precipitation for Flood Modelling, pp. 35–52.

Evaluation of MFSK Modulation for Data Transmission over GSM Voice Channel

Evaluasi Modulasi MFSK untuk Transmisi Data Melalui Kanal Suara GSM

Rika Sustika *, Oka Mahendra

Pusat Penelitian Informatika
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Komplek LIPI, Jl Cisitua No 21/154D Bandung
Indonesia

Abstract

In this paper, performance of MFSK (M-ary Frequency Shift Keying) modulation scheme for data transmission over GSM (Global System for Mobile Communication) voice channel is evaluated. The performance is analyzed in terms of bit error rate (BER). This evaluation is done to determine M order that will be choosed for application on data transmission over GSM voice channel. On the simulation process, data are encoded into symbols and modulated using MFSK modulator become speech like waveform. The voice than coded using CELP (Code Excited Linear Prediction) algorithm, and sent over the air that modelled as AWGN (Additive White Gaussian Noise) channel. At the receiver side, the received speech like signal are demodulated and converted back to data. From the simulation using fix signal to noise ratio ($E_b/N_0 = 6$ dB), we achieved a bit rate of 2.5 kbps with BER 2.01×10^{-3} for $M=4$, 2.22×10^{-3} for $M=8$, and 1.87×10^{-3} for $M=16$.

keywords: GSM, MFSK, modulation, voice channel

Abstrak

Pada tulisan ini, dievaluasi performansi skema modulasi MFSK (*M-ary Frequency Shift Keying*) untuk aplikasi pengiriman data melalui kanal suara GSM (*Global System for Mobile Communication*). Parameter yang dievaluasi berupa kesalahan bit trasmisi yang dinyatakan dengan laju kesalahan bit atau *bit error rate* (BER). Evaluasi ini dilakukan untuk menentukan besarnya orde M yang akan dipilih pada aplikasi pengiriman data digital melalui kanal suara GSM. Pada proses simulasi, data digital dikodekan menjadi simbol-simbol lalu dimodulasi menggunakan modulator MFSK menjadi data menyerupai pembicaraan (suara). Suara yang dihasilkan dikodekan dengan algoritma CELP (*Code Excited Linear Prediction*), kemudian dikirimkan melalui udara yang dimodelkan sebagai kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). Di sisi penerima, sinyal terima yang menyerupai suara ini didemodulasi dan dikonversi kembali menjadi data digital. Dari simulasi menggunakan E_b/N_0 (*signal to noise ratio*) sebesar 6 dB, diperoleh laju bit 2,5 kbps dengan BER $2,01 \times 10^{-3}$ untuk $M=4$, $2,22 \times 10^{-3}$ untuk $M=8$, dan $1,87 \times 10^{-3}$ untuk $M=16$.

kata kunci: GSM, MFSK, modulasi, kanal suara

1. PENDAHULUAN

Sistem kontrol dan monitoring dari jarak jauh banyak dipergunakan saat ini untuk berbagai aplikasi, diantaranya adalah untuk monitoring lingkungan, kontrol dan monitoring industri, manajemen pertanian modern, perdagangan, dan

lain-lain. Pada sistem kontrol dan monitoring jarak jauh, *datalogger* yang mengumpulkan data hasil pengukuran harus mengirimkan data hasil pengukuran ke komputer pusat yang berada jauh dari lokasi pengukuran. Ada beberapa cara untuk mengirimkan data dari *datalogger* ke komputer pusat, diantaranya melalui jaringan telepon kabel, melalui koneksi internet, atau melalui jaringan telepon nirkabel.

Pada kegiatan penelitian yang sedang dilakukan saat ini, untuk pengiriman data dari *datalogger* ke komputer pusat, jaringan yang digunakan adalah jaringan telepon nirkabel, yaitu melalui saluran

*Corresponding Author. Tel: +6222-2504711

Email: rika@informatika.lipi.go.id

Received: 19 Apr 2014; revised: 14 May 2014; accepted: 21 May 2014

Published online: 30 May 2014

© 2014 INKOM 2014/14-NO308

suara GSM. Meskipun GSM juga mengembangkan layanan untuk komunikasi data, saluran suara dipilih karena pada dasarnya layanan dasar GSM adalah untuk komunikasi suara sehingga layanan ini tersedia di semua wilayah cakupan GSM yang sudah hampir mencakup seluruh wilayah Indonesia.

Tujuan dari penulisan tulisan ini adalah untuk mengevaluasi performansi modulator MFSK yang digunakan untuk memodulasi data digital menjadi sinyal yang menyerupai suara. Evaluasi diperlukan untuk menjadi pertimbangan dalam penentuan besarnya orde M yang dapat digunakan pada aplikasi pengiriman data melalui kanal suara GSM. Ada beberapa orde M dari MFSK yang disimulasikan dan dievaluasi, yaitu $M=4, 8$, dan 16 .

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memodulasi data agar dapat ditransmisikan melalui kanal suara. Chmayssani mengevaluasi performansi modulasi menggunakan *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) dan *Frequency Shift Keying* (FSK) yang mengusulkan transmisi data melebihi 3 kbps dengan BER kurang dari 3×10^{-3} [1]. Katugampala membuat desain data modem berupa *signal synthesizer* dan menggunakan *speech production model* sebagai parameter suara. Pada *Enhanced Full Rate* (EFR) metoda ini mencapai *throughput* 3 kbps dengan BER 0.29×10^{-3} [2]. Rashidi menggunakan metoda yang sama dengan Katugampala, tetapi dengan parameter yang berbeda. Pada kanal *Full Rate* (FR), *throughput* yang dicapai adalah 2 kbps dengan BER 3×10^{-4} [3]. B. Kotnik membandingkan performansi modulasi FSK dengan *Autoregressive Demodulation and Modulation Algorithm* (ARDMA), dan diperoleh bahwa pada laju bit yang rendah, FSK lebih baik, sedangkan pada yang laju bit yang tinggi, ARDMA yang lebih baik performansinya [4].

Tulisan ini diorganisasikan sebagai berikut, pada Bagian 2 dasar teori yaitu modulasi MFSK dan *error correcting code* dan *speech coder* akan disajikan. Sedangkan model sistem dipresentasikan pada Bagian 3. Bagian 4 berisi pembahasan simulasi dan hasil terhadap sistem yang diusukan. Tulisan ini, ditutup dengan kesimpulan pada Bagian 5.

2. DASAR TEORI

2.1 Modulasi MFSK

Modulasi MFSK atau M -ary FSK adalah skema modulasi dimana informasi digital ditransmisikan melalui perubahan frekuensi diskrit dari gelombang pembawanya. Pada modulasi digital MFSK, aliran data biner dibagi-bagi menjadi kelompok-kelompok data yang terdiri dari n bit, dimana $n = \log_2 M$. Oleh karena itu terdapat M buah pesan, yang dapat kita nyatakan sebagai m_i , dimana $i = 1, 2, \dots, M$ [5]. Dalam setiap interval simbol T

dikirimkan salah satu dari M buah sinyal tersebut, yaitu $S_1(t), S_2(t), \dots, S_M(t)$, dengan frekuensi yang berbeda-beda.

Secara umum, persamaan modulasi FSK untuk setiap sinyal adalah [5]:

$$S_i(t) = A \cos(\omega_i t + \Phi_i), 0 \leq t \leq T, i = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

dimana A adalah amplitudo sinyal dan T adalah perioda simbol. Jika fasa sama untuk semua i , sinyal dikatakan koheren. Biasanya diasumsikan $\Phi_i = 0$ untuk MFSK koheren [5].

Pada MFSK, pemisahan frekuensi biasanya bersifat uniform [5]. Agar sinyal saling ortogonal, pemisahan frekuensi antar sinyal adalah $m/2T$ dan pemisahan minimum antara frekuensi yang berdekatan adalah $1/2T$ atau dapat dinyatakan dengan $2\Delta f$. Pemisahan frekuensi ini juga dapat dinyatakan dalam istilah index modulasi h , dimana $h = 2\Delta f t$ [5].

Frekuensi yang digunakan pada modulasi MFSK dapat dinyatakan dengan persamaan berikut [1]:

$$f(t) = f_c + h \sum_a^b a_k g(t - kT) \quad (2)$$

dimana f_c adalah frekuensi pembawa, T adalah perioda simbol, a_k adalah simbol, dan $g(t)$ adalah impuls ternormalisasi. Untuk implus $g(t)$ yang *rectangular*, frekuensi simpangan antara dua frekuensi yang berdekatan dinyatakan dengan persamaan berikut [1]:

$$f_d = h \frac{R_b}{k} \quad (3)$$

dimana f_d adalah frekuensi simpangan, h adalah indeks modulasi, dan k adalah jumlah bit per simbol pada modulasi orde M dan R_b adalah laju biner. Karena data dikirimkan melalui kanal suara yang didesain untuk karakteristik suara manusia, maka spektrum modulasi dibatasi oleh spektrum antara 300 s.d 3400 Hz.

$$f_{min} = f_c - \left[\frac{M-1}{2} \right] f_d > 300Hz$$

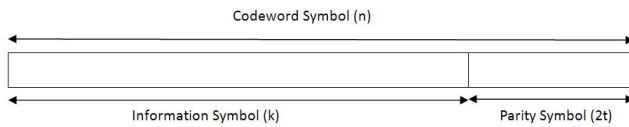
$$f_{max} = f_c + \left[\frac{M-1}{2} \right] f_d < 3400Hz$$

2.2 Error Correction Coding

Error correction coding adalah proses penambahan sejumlah kode untuk meminimasi kesalahan data terima yang sangat mungkin terjadi karena adanya *noise* pada kanal. Kode-kode ini mampu untuk mendeteksi kesalahan data dan juga memiliki kemampuan untuk memperbaiki kesalahan yang terjadi dengan kapasitas tertentu. Pada penelitian

ini digunakan *error correction coding* berupa kode Reed Solomon (RS).

Kode Reed Solomon adalah kode *non binary* dengan simbol-simbol yang terdiri dari urutan m buah bit setiap simbolnya, dimana m adalah integer positif yang memiliki nilai lebih dari 2. Kode Reed Solomon dinyatakan dengan $RS(n, k, t)$, dimana n adalah panjang *codeword*, k adalah jumlah simbol informasi, t adalah kemampuan mengoreksi kesalahan. Hubungan antara ukuran simbol (m) dan *codeword* (n) dinyatakan dengan $n = 2^m - 1$ [6]. Struktur dari kode Reed Solomon dapat dilihat pada Gambar 1 [7].



Gambar 1. Reed Solomon Code

Pada kode Reed Solomon, operasi aritmatika dilakukan dalam *Galois Field (GF)*. *Galois Field* adalah *finite field*, yang berarti merupakan himpunan yang memiliki elemen terbatas. Untuk setiap bilangan prima p , akan ada *finite field* $GF(p)$ yang terdiri dari sejumlah p bilangan. *Finite Field* $GF(p)$ dapat dikembangkan ke *field* p^m elemen. Ini disebut sebagai *extension field* dari $GF(p)$ dan dinotasikan $GF(p^m)$ dengan m adalah bilangan integer bukan 0. Sebagai contoh, untuk $p = 2$, selain bilangan biner 0 dan 1, ada tambahan elemen unik yang disebut dengan elemen primitif α dan setiap elemen bukan nol pada $GF(2^m)$ dapat direpresentasikan ke dalam bilangan pangkat dari α . Himpunan dari *Galois Field* 2^m dapat dinyatakan dengan himpunan berikut ini.

$$GF(2^m) = \{0, 1, \alpha^1, \alpha^2, \alpha^3, \dots, \alpha^{2^m-2}\} \quad (4)$$

Sebuah kode Reed Solomon $RS(n, k, t)$ dibuat dengan membentuk kode *generator polinomial*. Polinomial tersebut terdiri dari $n - k = 2t$ faktor, yaitu

$$g(x) = g_0 + g_1x + g_2x^2 + \dots + g_{2t-1}x^{2t-1} + x^{2t} \quad (5)$$

Derajat dari polinomial tersebut merupakan jumlah simbol pariti, yaitu $2t$. Jika akar pertama adalah α^p maka akar dari $g(x)$ adalah $\alpha^p, \alpha^{p+1}, \alpha^{p+2}, \dots, \alpha^{p+2t-1}$. Sehingga kode *generator polinomial* menjadi

$$g(x) = (x + \alpha^p)(x + \alpha^{p+1}) \dots (x + \alpha^{p+2t-1}) \quad (6)$$

2.3 Speech Coder

Pada komunikasi data melalui kanal suara GSM, sinyal suara ditransmisikan pada kanal suara yang

merupakan kanal transmisi dengan *bandwidth* terbatas yang cukup untuk membawa suara manusia. *Speech coder* atau *voice coder* atau *vocoder* didesain untuk mengkompres sinyal suara (*speech compression*) pada sisi pengirim. Tujuan dari *speech compression* adalah untuk merepresentasikan suara pembicaraan secara digital dengan sesedikit mungkin bit tetapi dengan level kualitas suara yang masih dapat diterima [8].

Kanal suara GSM menggunakan beberapa tipe *codec* standar untuk mengkompres atau dekompres sinyal suara, yaitu *Full Rate (FR)*, *Half Rate (HR)*, *Enhanced Full Rate (EFR)*, dan *Adaptive Multi Rate (AMR)* [8]. Teknologi *voice coder* ini berbasis pada algoritma CELP [1] yang menggunakan metoda *analysis by synthesis (AbS)*. Prinsip dasar dari *encoder CELP* adalah, sinyal suara direpresentasikan dengan menggunakan model *autoregressive (AR)*.

$$X_n = \sum_{i=1}^L a_i X_{n-i} + e_n \quad (7)$$

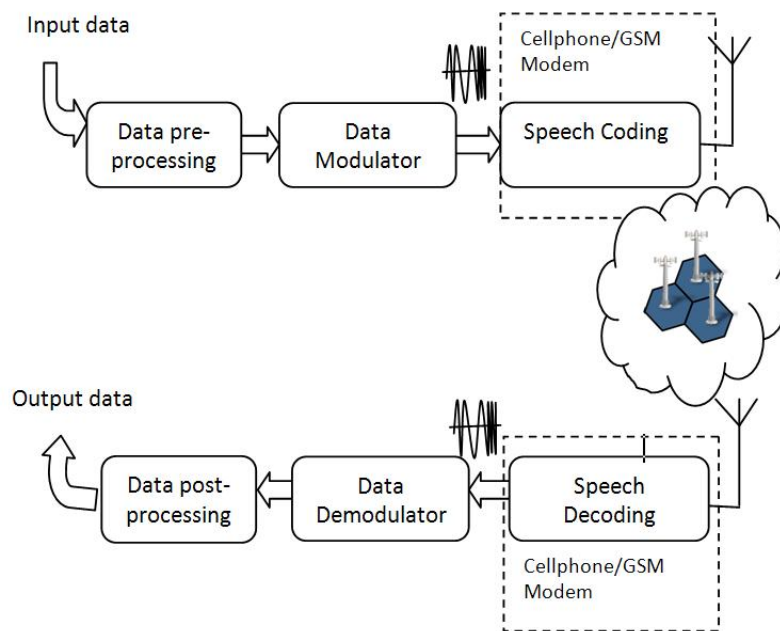
Setiap cuplikan direpresentasikan sebagai kombinasi linear dari L cuplikan sebelumnya, ditambah dengan derau putih. Koefisien bobot $a_1, a_2, \dots, a_L$ disebut dengan *linear prediction coefficient (LPC)*. Setiap cuplikan dari input suara dibagi menjadi blok-blok, yang masing-masing terdiri dari N buah cuplikan (disebut *frame*). Setiap *frame* pada umumnya memiliki panjang 10-20 ms (berarti $N=80-160$ cuplikan). Setiap *frame* dibagi menjadi blok yang lebih kecil, yang terdiri dari k buah cuplikan yang disebut *subframes* [1].

3. MODEL SISTEM

Model sistem yang digunakan untuk implementasi transmisi data melalui saluran komunikasi suara GSM dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada tahap implementasi, proses yang dilakukan di sisi pengirim adalah mengubah input data hasil pengukuran menjadi data yang menyerupai suara, sehingga data bisa ditransmisikan melalui saluran suara jaringan GSM. Input data merupakan data hasil pengukuran dari *datalogger*. Untuk sistem monitoring lingkungan, input data merupakan besaran-besaran hasil pengukuran sensor seperti temperatur, kelembaban, curah hujan, dan lain-lain. Input data kemudian melewati tahap *data preprocessing*, yang bisa terdiri dari beberapa proses, diantaranya:

- Mengubah input data yang bukan biner menjadi data biner
- Mencacak input data untuk meningkatkan keamanan data (*scrambling*)



Gambar 2. Model Sistem

- Melakukan pengkodean kanal (*channel coding*) untuk meminimasi kesalahan pengiriman data
- Mengubah data dari serial menjadi paralel, dan sebagainya.

Data modulator digunakan untuk memodulasi data digital hasil proses *data preprocessing* sehingga menjadi data analog yang menyerupai data suara. Data yang sudah dimodulasi kemudian dikirimkan melalui jaringan GSM melalui modem GSM atau telepon seluler yang memiliki fungsi *speech coding* di dalamnya.

Di sisi penerima, sinyal suara yang diterima didemodulasi menggunakan demodulator MFSK. Data hasil demodulasi diolah kembali dengan proses *post processing* yang disesuaikan dengan proses yang dilakukan di sisi pengirim. Data ini merupakan data pengukuran di lapangan, yang terbaca oleh stasiun master dan digunakan untuk kontrol/monitoring terhadap sistem yang ada di lapangan.

4. SIMULASI DAN HASIL

Untuk mengevaluasi performansi modulator MFSK pada pengiriman data melalui kanal suara GSM, dilakukan simulasi menggunakan program Matlab. Gambar 3 adalah diagram blok simulasi, yang dapat dibagi menjadi 3 sub sistem utama, yaitu *error correction*, modulasi, dan *speech coding*.

Pada proses simulasi, input dibangkitkan secara acak sebanyak $2,3 \times 10^4$ bit. Setelah itu dilakukan proses untuk *error correction* menggunakan kode

Reed Solomon. Tabel I berikut ini adalah parameter yang digunakan pada pengkodean Reed Solomon.

Tabel I. Parameter kode Reed Solomon

No	Parameter	Nilai
1	Jumlah bit per simbol (m)	5
2	Panjang <i>codeword</i> (n)	31
3	Panjang bit informasi (k)	23

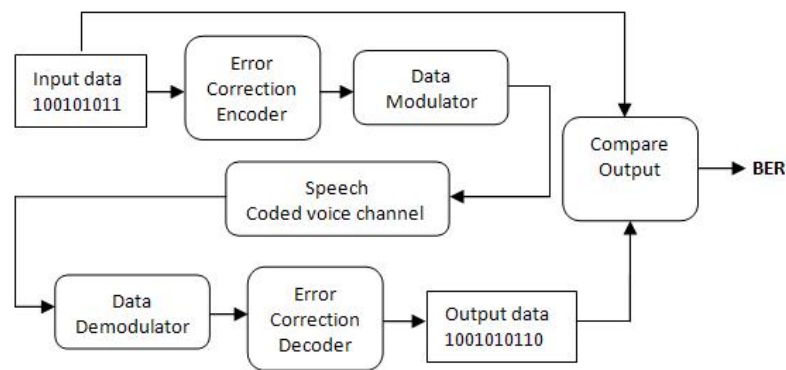
Pada pengkodean ini dilakukan pemetaan dari bit mejadi simbol berupa angka desimal, kemudian diubah menjadi struktur RS code (menjadi nilai-nilai *galois field*). Nilai *galois field* diubah kembali menjadi *array* nilai-nilai desimal, kemudian diubah lagi menjadi integer dan akhirnya menjadi data-data biner yang siap untuk dimodulasi oleh modulator MFSK.

Dengan modulasi MFSK, bit-bit yang ditransmisikan diubah menjadi sinyal analog dengan frekuensi tertentu. Parameter-parameter yang digunakan pada modulasi MFSK dapat dilihat pada Tabel II berikut ini.

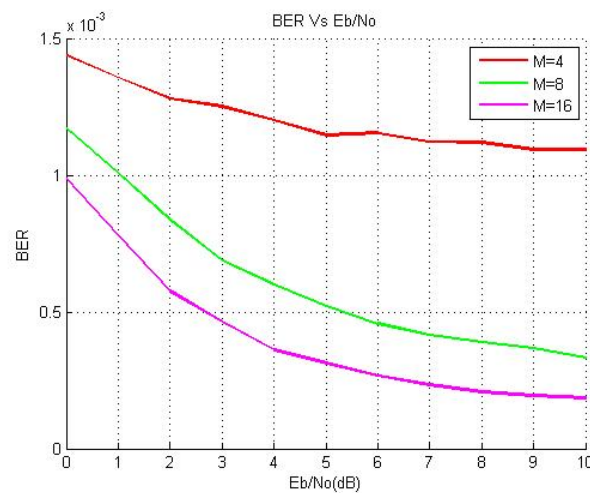
Tabel II. Parameter modulasi MFSK

No	Parameter	Nilai
1	Frekuensi pencuplikan	8000 Hz
2	Jumlah cuplikan per simbol	50
3	Pemisahan frekuensi	100 Hz

Dari hasil simulasi, parameter-parameter tersebut merupakan nilai optimal yang dapat menghasilkan BER yang paling kecil.



Gambar 3. Diagram blok simulasi



Gambar 4. N = 80

Speech coded voice channel digunakan untuk mensimulasikan kanal komunikasi antara modulator dan demodulator. Untuk memodelkan *speech coded* pada kanal suara GSM, pada simulasi ini sinyal hasil modulasi MFSK dikompres menggunakan *speech coder* dengan algoritma CELP. Pada sistem GSM, *voice codec* didesain untuk 8000 cuplikan/detik [5]. Input data dibagi menjadi beberapa frame atau blok (N) dengan panjang antara 10 sampai dengan 20 ms (80-160 cuplikan/frame) [1].

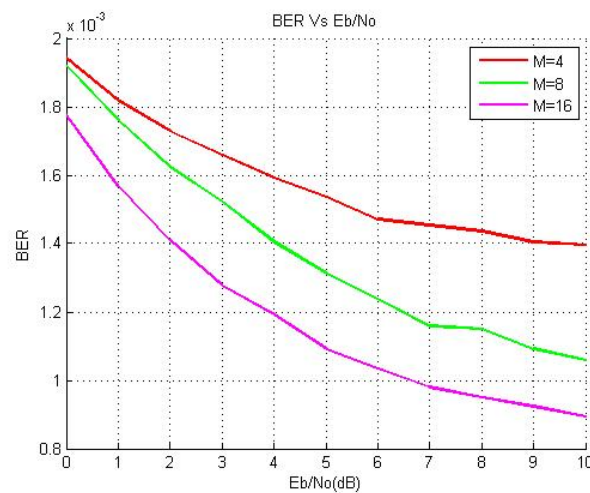
Hasil demodulasi dan *error decoding* dievaluasi dengan cara membandingkan input data dengan output data yang diperoleh. Perbedaan yang terjadi dinyatakan dengan parameter BER.

Berikut ini adalah gambar hasil simulasi untuk tiga buah panjang frame (N) yang berbeda. Gambar 4 untuk panjang frame 80 cuplikan, Gambar 5 untuk panjang frame 120 cuplikan, dan Gambar 6 untuk panjang frame 160 cuplikan. Seperti terlihat pada Tabel I, kode Reed Solomon yang digunakan adalah RS(31,23), yang mengkodekan setiap 5 bit data menjadi satu simbol. Jumlah bit informasi pada

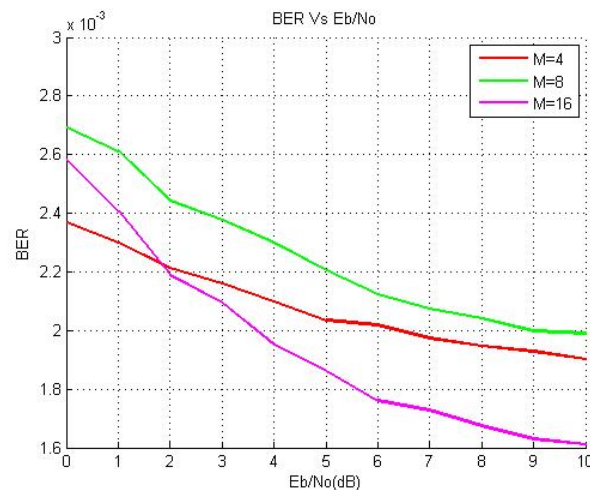
setiap codeword adalah 23 buah bit dan *pariti*-nya 8 bit.

Dari grafik pada Gambar 4 dan 5 terlihat bahwa BER semakin kecil untuk orde M yang semakin besar, atau BER yang terkecil dicapai pada orde M=16. Hasil ini sesuai dengan teori yang diperoleh pada referensi [9], yang menyatakan bahwa probabilitas kesalahan akan menurun jika orde M bertambah. Hasil yang berbeda terjadi pada saat jumlah cuplikan per frame adalah 160. Dapat dilihat pada Gambar 6, nilai BER yang paling kecil tetap ditunjukkan saat M=16, tetapi M=4 lebih baik performansinya daripada M=8. Hal ini menunjukkan bahwa performansi dari pengiriman data digital melalui kanal suara tidak hanya dipengaruhi oleh tahap modulasi tetapi juga proses kompresi suara yang dilakukan. Proses kompresi ini yang dinyatakan dengan jumlah cuplikan pada setiap frame pada algoritma CELP.

Untuk contoh lebih lanjut, proses transmisi data disimulasikan dengan menggunakan besar Eb/No= 6 dB. Dari hasil simulasi diperoleh laju bit 2,5 kbps



Gambar 5. N = 120



Gambar 6. N = 160

dengan nilai BER seperti terlihat pada Tabel III berikut ini.

Tabel III. Bit Error Rate

Panjang frame	Jumlah ary FSK	BER
80	4	$1,17 \times 10^{-3}$
80	8	$5,59 \times 10^{-4}$
80	16	$3,30 \times 10^{-4}$
120	4	$1,48 \times 10^{-3}$
120	8	$1,29 \times 10^{-3}$
120	16	$1,10 \times 10^{-3}$
160	4	$2,01 \times 10^{-3}$
160	8	$2,22 \times 10^{-3}$
160	16	$1,87 \times 10^{-3}$

Dari Tabel III terlihat bahwa nilai BER yang terkecil diperoleh untuk panjang frame paling kecil, yaitu N=80. Semakin besar panjang frame, maka nilai BER pun semakin besar. Untuk aplikasi pada

Enhanced Full Rate GSM yang menggunakan panjang frame 160 cuplikan per frame, BER terkecil diperoleh pada modulasi dengan orde M paling besar, yaitu M=16.

Selain faktor orde M dan banyaknya cuplikan setiap frame, pemakaian kode Reed Solomon yang digunakan pun mempengaruhi besarnya BER di penerima. untuk memperbaiki BER, dapat dilakukan beberapa cara, diantaranya adalah dengan memperbesar jumlah bit parity yang digunakan atau memperbesar *codeword* (*n*) dengan *code rate* yang konstan [7].

5. KESIMPULAN

Untuk aplikasi pada kanal GSM *enhanced full rate* pada laju bit 2,5 kbps, modulasi MFSK dengan M=4, 8, maupun 16, dapat memberikan nilai BER lebih rendah dari 3×10^{-3} . Dari hasil simulasi ini dapat dikatakan bahwa penggunaan

modulasi MFSK dengan tiga orde M yang berbeda menghasilkan BER yang masih dapat diterima pada aplikasi pengiriman data melalui kanal suara GSM. Dari hasil simulasi, BER terbaik diperoleh untuk orde M paling besar, yaitu $M=16$. Karena perbedaan performansi berdasarkan perbedaan orde M tidak terlalu signifikan, ada beberapa hal lain yang perlu dipertimbangkan dan perlu dievaluasi pada pemilihan orde M untuk aplikasi. Hal tersebut diantaranya adalah kompleksitas rangkaian modulator, efisiensi daya, serta efisiensi bandwidth.

Daftar Pustaka

- [1] T. Chmayssani and G. Baudoin, "Data transmission over voice dedicated channels using digital modulations," in *Radioelektronika, 2008 18th International Conference*, April 2008, pp. 1–4.
- [2] N. Katugampala, K. Al-Naimi, S. Villette, and A. Kondozi, "Real time end to end secure voice communications over gsm voice channel," in *13th European Signal Processing Conference*, September 2005.
- [3] M. Rashidi, A. Sayadiyan, and P. Mowlaei, "Data mapping onto speech-like signal to transmission over the gsm voice channel," in *40th Southeastern Symposium on System Theory (SSST)*, March 2008, pp. 54–58.
- [4] B. Kotnik, Z. Mezgec, J. Svecko, and A. Chowdhury, "Data transmission over gsm voice channel using digital modulation technique based on autoregressive modeling of speech production," *Digital Signal Processing*, vol. 19, no. 4, 2009.
- [5] P. Xiong, *Digital Modulation Technique*. Artech House, London, 2006.
- [6] A. Shahbazi, A. H.R., A. Sayadiyan, and S. Mosayyebpour, "Data transmission over gsm adaptive multi rate voice channel using speech-like symbols," in *2010 International Conference on Signal Acquisition and Processing*, February 2010, pp. 63–67.
- [7] S. Mahajan and G. Singh, "Ber performance of reed solomon code using m ary fsk modulation in awgn channel," *International Journal of Advances in Science and Technology*, 2011.
- [8] Z. Mezgec, A. Chowdhury, and B. Kotnik, "Implementation of pccp-ofdm-ask robust data transmission over gsm speech channel," *Informatica*, 2009.
- [9] M. E. Haque, M. G. Rashed, and M. H. Kabir, "A comprehensive study and performance comparison of m-ary modulation schemes for an efficient wireless mobile communication system," *International Journal of Computer Science, Engineering and Applications (IJSEA)*, 2011.

Development of Data Acquisition and Control Software for High Resolution Powder Diffractometer

Pengembangan Perangkat Lunak Akuisisi Data dan Kontrol Difraktometer Serbuk Resolusi Tinggi

Bharoto *, Andon Insani

Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju
Badan Tenaga Nuklir Nasional

PSTBM-BATAN, Gd. 40 Kawasan Puspipetek Serpong, Tangerang Selatan, Banten
Indonesia

Abstract

In this paper, we present a new data acquisition and control system for a High Resolution Powder Diffractometer (HRPD). Our system consists of two parts: instrument control system such as motion system, position encoder system, and neutron counting system and the second part is the data acquisition that control the instrument automatically according to measurement mode to be run. According to the evaluation, the system is user friendly and makes users easier to run the experiment since the measurement would be run automatically without user intervention during the experiment. The system is evaluated according to software testing methodology. The results show that the software run well. This claim is verified by experiment/measurement results.

keywords: Software, data acquisition, control, neutron, diffractometer

Abstrak

Pada tulisan ini, dipresentasikan sebuah sistem akuisisi data dan kendali untuk difraktometer serbuk resolusi tinggi (*High Resolution Powder Diffractometer*, HRPD). Sistem terdiri dari dua bagian yaitu bagian kontrol instrumen seperti sistem penggerak, sistem pembaca posisi, dan sistem pencacah pulsa neutron, dan bagian akuisisi data yang mengendalikan instrumen secara otomatis sesuai dengan mode pengukuran yang diinginkan. Tampilan perangkat lunak ini dibuat sedemikian rupa sehingga tampak lebih *user friendly*, dan memudahkan pengguna dalam melakukan eksperimen karena perangkat lunak ini akan melakukan pengukuran secara otomatis tanpa ada intervensi lebih lanjut dari pengguna sesuai dengan parameter yang dimasukkan pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat lunak ini telah berjalan dengan baik dibuktikan dengan pengukuran kinerja dengan menggunakan peralatan difraktometer serbuk resolusi tinggi.

kata kunci: Perangkat lunak, akuisisi data, kontrol, neutron, difraktometer

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 1992, beberapa peralatan hamburan neutron telah dipasang di laboratorium hamburan neutron (*Neutron Scattering Laboratory*, NSL), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Serpong untuk penelitian ilmu bahan. Salah satu peralatan tersebut adalah difraktometer serbuk resolusi tinggi (*High Resolution Powder Diffractometer*,

HRPD), yang merupakan difraktometer multiguna untuk mempelajari kristalografi dan struktur magnetik pada sampel serbuk. Namun beberapa tahun kemudian, eksperimen menggunakan peralatan tersebut tidak dapat dilakukan, karena komputer utama untuk akuisisi data dan kontrol instrumen tidak berfungsi. Untuk mengatasi masalah tersebut telah dilakukan upaya perbaikan seperti penggantian kontroler menggunakan PIC16C84 untuk mengendalikan motor penggerak difraktometer neutron[1], pembuatan penganalisis kanal tunggal (*Single Channel Analyser*) yang digunakan pada sistem pencacah pulsa neutron[2], dan penggantian pembaca posisi sumbu alat menggunakan antarmuka buatan sendiri dengan

*Corresponding Author. Tel: +62-21-7560922

Email: bharoto@batan.go.id

Received: 29 Apr 2014; revised: 15 May 2014; accepted: 20 May 2014

Published online: 30 May 2014

© 2014 INKOM 2014/14-NO306

komponen utama *Programmable Peripheral Interface* (PPI8255)[3][4], serta upaya peningkatan kualitas data dengan perangkat lunak buatan sendiri[5].

Dengan upaya tersebut di atas, HRPD dapat digunakan lagi untuk penelitian bahan. Namun demikian, seiring dengan semakin banyaknya pengguna difraktometer tersebut, maka pada tahun 2012 telah dilakukan improvisasi difraktometer dengan menambahkan kartu antarmuka pencacah pulsa menggantikan sistem yang lama, dan antarmuka pembaca posisi *absolute encoder*, serta pengembangan perangkat lunak akuisisi data dan kontrol yang lebih mudah digunakan (*user friendly*) menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic*. Pada tulisan ini akan disajikan berbagai upaya dalam memecahkan masalah yang terjadi, beserta pengembangan perangkat lunak akuisisi data dan kontrol pada peralatan difraktometer.

Tulisan ini diorganisasikan sebagai berikut pada Bagian 2 dibahas tentang difraktometer serbuk beresolusi tinggi. Sedangkan, pada Bagian 3 dijelaskan metodologi pengembangan sistem kendali yang diusulkan. Sistem perangkat lunak dan sistem kendali untuk difraktometer disajikan pada Bagian 4. Unjuk kerja sistem yang diusulkan disajikan pada Bagian 5. Tulisan ini ditutup oleh kesimpulan pada Bagian 6.

2. DIFRAKTOMETER SERBUK RESOLUSI TINGGI



Gambar 1. Difraktometer Serbuk Resolusi Tinggi

Difraktometer adalah peralatan untuk menganalisis struktur material dari pola hamburan yang dihasilkan ketika sinar radiasi atau partikel (sinar-X, neutron) berinteraksi dengan bahan. Salah satu difraktometer neutron untuk analisis kristalografi dan struktur magnetik pada bahan serbuk di BATAN Serpong adalah difraktometer

serbuk resolusi tinggi yang terpasang di gedung pemandu neutron (*Neutron Guide Hall*, NGH) berjarak 71 meter dari teras reaktor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Komponen utama peralatan ini adalah (1) Meja monokromator untuk menempatkan monokromator yang berfungsi sebagai penyaring panjang gelombang berkas neutron, (2) Kolimator yang meluruskan berkas neutron, (3) Penutup yang berfungsi untuk menutup berkas neutron apabila tidak dilakukan pencacahan neutron, (4) *Beam narrower* yang berfungsi untuk mempersempit berkas neutron, (5) Meja sampel untuk menempatkan sampel yang akan dikarakterisasi, (6) Kolimator yang meluruskan berkas neutron yang terhambur oleh sampel, dan (7) Detektor yang berjumlah 32 buah untuk menangkap neutron yang terhambur oleh sampel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Meja sampel dan detektor yang berat dapat digerakkan dengan mudah menggunakan motor stepper setelah diangkat oleh bantalan udara di atas lantai yang sangat licin.

Spesifikasi difraktometer ini ditunjukkan pada Tabel I[6].

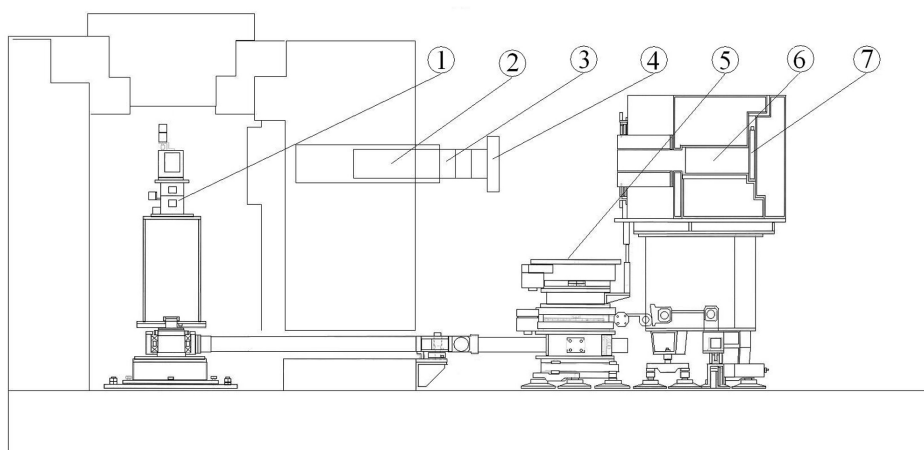
Tabel I. Spesifikasi Difraktometer Serbuk Resolusi Tinggi

Source	S5 (radial) beam port
Monochromator	hot-pressed Ge(331)
Take off angle	89°
Wavelength (λ)	1.8223 Å
Neutron flux	$\sim 4 \times 10^4 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Beam Narrower	$\sim 100 \text{ mm (h)} \times \sim 40 \text{ mm (w)}$
Collimators	Soller type, Gd ₂ O ₃ , mylar
Scattering angle	$-170^\circ < 2\theta < 10^\circ$
Main detectors	³ He detectors (32 units)

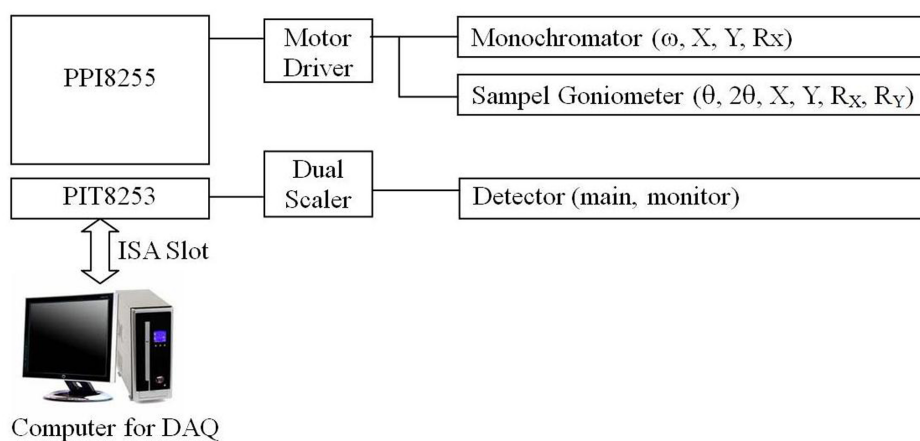
HRPD ini merupakan difraktometer standar dua sumbu dengan resolusi tinggi yang mana resolusinya dicapai dengan pemilihan kolimator ketiga dengan divergensi 6' dan sudut *take-off* monokromator mendekati 90°. Detektor utama berupa *multicounter* yang terdiri dari 32 pencacah ³He berjarak 5° dan dilengkapi kolimator di depannya.

3. METODOLOGI PENGEMBANGAN SISTEM KENDALI

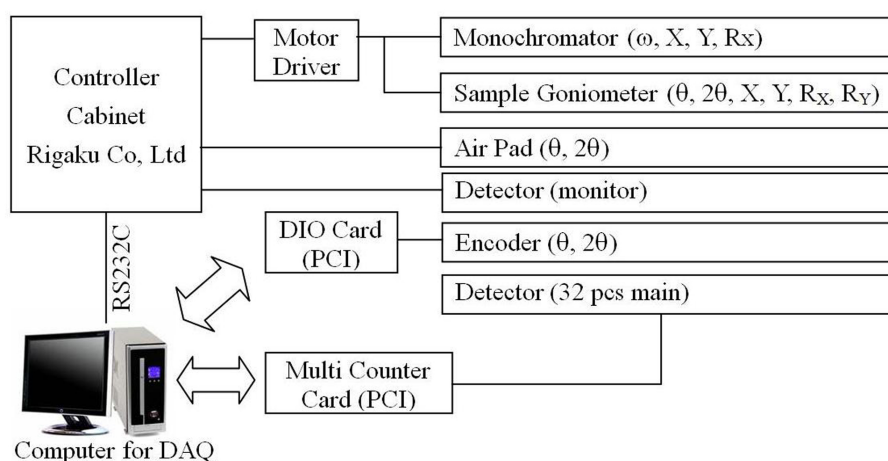
Pada awal difraktometer ini terpasang, pengendalian sistem dilakukan dengan modul kontroler buatan Rigaku Co., Ltd. melalui *serial port* RS232C menggunakan komputer IBM PS/70 dengan sistem operasi AIX. Namun setelah komputer utama pengendali difraktometer ini mengalami masalah sehingga sama sekali tidak dapat mengendalikan seluruh sistem kontrol, maka dilakukan penggantian sistem kontrol lama dengan sistem kontrol berbasis *Programmable Peripheral Interface* (PPI) 8255



Gambar 2. Skema Alat Difraktometer Serbuk Resolusi Tinggi



(a)



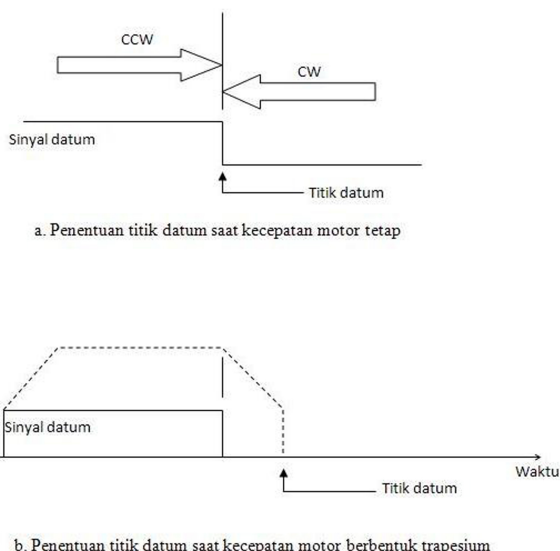
(b)

Gambar 3. a. Skema Sistem Kontrol Modifikasi Pertama (2005-2010), b Skema Sistem Kontrol Modifikasi Terakhir (2011-2013)

dan *Programmable Interval Timer* (PIT) 8253[4] seperti ditunjukkan pada Gambar 3a. Bagian yang

digerakkan dari difraktometer serbuk resolusi tinggi ini adalah meja monokromator yang terdiri dari

4 sumbu (ω , X, Y, Rx, Ry), meja sampel yang terdiri dari 6 sumbu (θ , 2θ , X, Y, Rx, Ry), dan 2 bantalan udara untuk mengangkat meja sampel dan meja detektor. Pada sistem yang telah dimodifikasi tersebut, kontrol penggerak semua motor tidak lagi menggunakan *serial port* melainkan menggunakan kartu antarmuka buatan sendiri melalui *Industry Standard Architecture (ISA) BUS* pada komputer pengendali dengan sistem operasi MS Windows. Akan tetapi, karena komunikasi antara kontroler dan komputer masih menggunakan *ISA BUS*, maka ada kendala ketika akan meng-*upgrade* komputer di mana komputer saat ini tidak memiliki *ISA slot* dalam *motherboard* nya. Kemudian, sistem baru dibuat untuk menggantikan sistem kontrol sebelumnya seperti ditunjukkan pada Gambar 3b. Pada sistem kontrol modifikasi terakhir ini, semua sumbu kembali digerakkan menggunakan modul kontroler yang dibuat oleh Rigaku Co, Ltd., yang dikendalikan melalui serial port RS232C. Sedangkan untuk pembacaan posisi sumbu θ dan 2θ dilakukan dengan memasang *absolute encoder* pada kedua sumbu tersebut. Pulsa dari *encoder* tersebut kemudian dibaca oleh antar muka *digital input/output (DIO)* berbasis *Peripheral Component Interconnect (PCI) BUS* buatan JS Automation Co, Ltd[7]. Adapun neutron yang terhambur yang ditangkap oleh detektor yang jumlahnya mencapai 32 buah dicacah secara bersamaan menggunakan kartu antar muka *multicounter (MC)* berbasis *PCI BUS* buatan Tedia, Co, Ltd[8].



Gambar 4. Skema penentuan titik datum

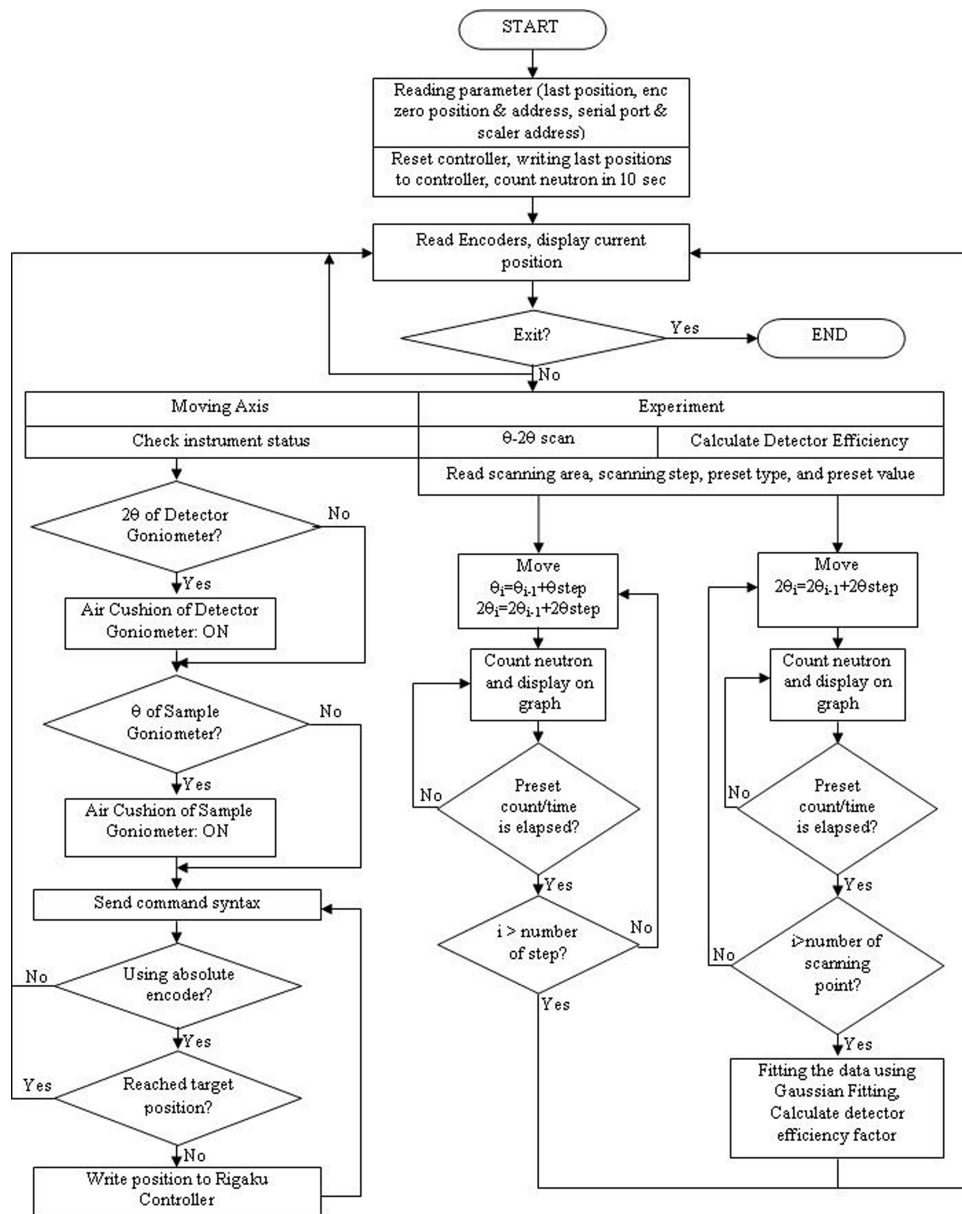
Pada sistem kontrol yang baru ini, modul kontroler Rigaku menyimpan posisi awal motor sesuai dengan *command syntax* yang diberikan oleh komputer saat perangkat lunak akuisisi data dan kontrol

dijalankan pertama kali. Untuk sumbu yang tidak terpasang *absolute encoder*, dilakukan pencarian titik *datum*, yaitu sebuah titik acuan posisi awal. Pada gerakan motor dengan kecepatan tetap saat inisialisasi, titik datum adalah pada saat masuk atau keluar dari sinyal datum. Sedangkan pada gerakan motor dengan kecepatan berbentuk trapesium saat inisialisasi, motor akan berhenti sebanyak pulsa deselerasi setelah masuk atau keluar dari sinyal datum, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Kontrol penempatan sumbu alat dilakukan dengan menggerakkan motor menggunakan parameter inisialisasi seperti kecepatan akselerasi, kecepatan maksimum dan kecepatan deselerasi yang berbentuk trapesium, yang selanjutnya akan dihitung kembali kekurangan atau kelebihan posisinya oleh perangkat lunak akuisisi data dan kontrol ketika semua pulsa sudah terkirim oleh kontroler Rigaku.

4. PERANGKAT LUNAK AKUISISI DATA DAN KONTROL YANG DIUSULKAN

Gambar 5 menunjukkan diagram alir perangkat lunak akuisisi data dan kontrol difraktometer serbuk resolusi tinggi. Perangkat lunak dimulai dengan pembacaan parameter alat seperti alamat kontroler Rigaku, alamat masing-masing sumbu, parameter motor (kecepatan awal, kecepatan maksimal, akselerasi, deselerasi, pulsa per derajat, posisi terakhir), dan parameter *encoder (Card ID, Port No, nilai encoder pada posisi nol, pulsa per derajat)*, kemudian dilanjutkan dengan inisialisasi ketiga kontroler yaitu Rigaku, DIO, dan kartu antarmuka *multicounter*. Setelah semua kontroler berhasil diinisialisasi, perangkat lunak akan mencacah neutron pada detektor monitor selama 10 detik untuk menghitung cacahan neutron per detik (cps). Selanjutnya, perangkat lunak akan membaca posisi setiap saat dalam waktu nyata dan ditampilkan pada tampilan utama.

Pada perintah menggerakkan sumbu, perangkat lunak akan mengidentifikasi sumbu yang akan digerakkan, bila sumbu 2θ yang digerakkan maka bantalan udara pada meja detektor akan dihidupkan dan *roller* pada meja detektor diturunkan dengan mengirim *command syntax* pada kontroler Rigaku, dan bila sumbu θ yang digerakkan maka bantalan udara pada meja sampel yang dihidupkan dan *roller* pada meja sampel diturunkan. Setelah bantalan udara sudah dipastikan hidup dan *roller* sudah dipastikan turun, maka perangkat lunak akan mengirim *command syntax* untuk menggerakkan motor pada kontroler Rigaku. Selanjutnya perangkat lunak membaca sinyal dari kontroler Rigaku yang menandakan pengiriman pulsa listrik ke penggerak motor sudah selesai. Pada sumbu yang terpasang *encoder*, hasil pembacaan *encoder* pada sumbu



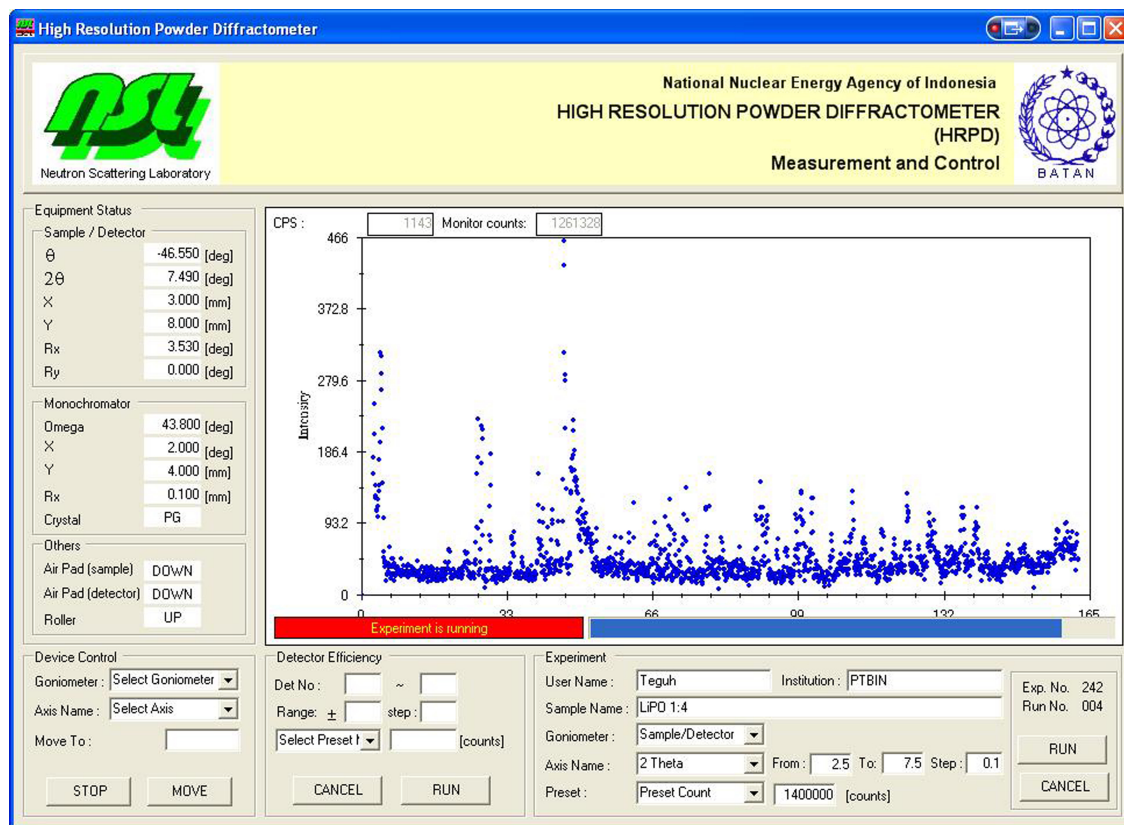
Gambar 5. Diagram Alir Perangkat Lunak

yang bersangkutan dibandingkan dengan posisi yang dituju untuk memastikan apakah sumbu sudah benar berada dalam posisi yang dituju atau tidak. Apabila tidak tepat, maka perangkat lunak akan menuliskan posisi nyata sumbu ke kontroler Rigaku dan menggerakkan lagi sumbu ke posisi yang dituju. Untuk sumbu yang tidak terpasang *encoder* perangkat lunak hanya mengirimkan *command syntax* dan menunggu sampai semua pulsa listrik telah terkirim pada penggerak motor.

Pada eksperimen untuk menghitung efisiensi detektor, perangkat lunak membaca parameter eksperimen seperti detektor yang akan dihitung efisiensinya, daerah scan (*scanning area*), dan mode preset. Kemudian, sumbu 2θ digerakkan pada posisi

scan, neutron yang tertangkap pada detektor dicacah dan disimpan dalam sebuah file. Setelah data untuk semua detektor sudah didapatkan, maka efisiensi detektor dihitung dan posisi sumbu dikoreksi menggunakan *Gaussian fitting*. Data efisiensi dan koreksi posisi sumbu 2θ disimpan ke dalam file yang nantinya akan digunakan untuk mengoreksi hasil eksperimen karakterisasi bahan.

Untuk eksperimen karakterisasi bahan, posisi sumbu 2θ dan hasil cacahan neutron dikoreksi menggunakan data efisiensi yang didapatkan pada eksperimen menghitung efisiensi detektor tersebut di atas, kemudian disimpan dalam format *comma separated value* (csv), dan selanjutnya dapat diolah menggunakan perangkat pengolah data *Fullprof*



Gambar 6. Tampilan Perangkat Lunak Akuisisi Data dan Kontrol

Suite, General Structure Analysis System (GSAS), dan lain-lain.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen menggunakan perangkat lunak akuisisi data dan kontrol difraktometer serbuk resolusi tinggi ditunjukkan pada Gambar 6. Tampak pada gambar tersebut, perangkat lunak ini terdiri dari 6 bingkai, yaitu bingkai judul perangkat lunak, bingkai tampilan status alat, bingkai kontrol alat, bingkai eksperimen untuk menghitung efisiensi detektor, bingkai eksperimen untuk karakterisasi bahan, dan bingkai grafik data hasil eksperimen. Pada bingkai tampilan status alat, posisi semua sumbu ditampilkan setiap saat dalam waktu nyata. Sedangkan pada bingkai kontrol alat, terdapat pilihan goniometer dan sumbu yang akan digerakkan, dan masukan posisi yang diinginkan. Pada bingkai eksperimen untuk menghitung efisiensi, terdapat masukan detektor yang akan dihitung efisiensinya, daerah pergerakan detektor, pilihan mode preset, dan masukan nilai preset. Bingkai eksperimen untuk karakterisasi bahan terdiri dari masukan informasi pengguna dan asal institusi, nama sampel, pilihan goniometer dan sumbu yang akan di-scan, masukan daerah scanning, pilihan mode preset, dan masukan nilai

preset. Selain itu tampak pada bingkai tersebut nomor eksperimen dan nomor pelaksanaan (*running no*) yang akan memudahkan pengguna untuk melacak file hasil eksperimen, karena nama file hasil eksperimen diambil dari nomor tersebut (contoh nama file data eksperimen untuk eksperimen ini adalah E242R004.txt). Pada bingkai grafik hasil eksperimen, terdapat notifikasi berwarna merah dengan tulisan berwarna kuning yang menandakan bahwa eksperimen sedang berjalan, progress bar berwarna biru yang menampilkan proses pencacahan neutron, cacahan neutron per detik, cacahan neutron pada detektor monitor, dan grafik hasil eksperimen. Tampak pada gambar tersebut, eksperimen dengan nama sampel LiPO 1:4 sedang berjalan dan hasil pencacahan neutron ditampilkan secara nyata.

6. KESIMPULAN

Dari uraian tersebut di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa perangkat lunak akuisisi data dan kontrol yang dikembangkan telah dapat diimplementasikan pada difraktometer serbuk resolusi tinggi di laboratorium hamburan neutron BATAN Serpong.

Perangkat lunak ini lebih mudah digunakan karena lebih *user-friendly*, dengan menampilkan status alat setiap waktu dan eksperimen dapat dilakukan tanpa

ada intervensi dari pengguna selama eksperimen berlangsung sehingga lebih efektif dan efisien. Data hasil eksperimen disimpan dalam format yang dapat diolah dengan perangkat lunak pengolah data baik buatan sendiri maupun komersial sesuai dengan keinginan pengguna.

Karena perangkat lunak ini dibuat menyesuaikan keinginan pengguna alat, maka pengembangan yang lebih jauh lagi dapat dilakukan dengan mudah sesuai dengan perkembangan penelitian sains materi yang menggunakan peralatan hamburan neutron.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada operator dan teknisi difraktometer/spektrometer neutron atas bantuan desain dan pembuatan perangkat keras kontrol peralatan, dan kepala Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, Badan Tenaga Nuklir Nasional atas dukungan dana penelitian melalui Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) 2011-2013.

Daftar Pustaka

- [1] D. Kurnia, "Aplikasi mikrokontroler pic16c84 untuk pengendalian motor stepper pada difraktometer neutron dan sinar-x," in *Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar X ke 2*, Agustus 1999, pp. 20–22.
- [2] H. Mugirahardjo and E. Santoso, "Rancang bangun penganalisis kanal tunggal," in *Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar X ke 4*, December 2001, pp. 154–158.
- [3] E. Santoso and A. Fajar, "Rancang bangun antarmuka antara absolute encoder difraktometer neutron resolusi tinggi (hrpd) dengan komputer," in *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan 2004*, September 2004, pp. 371–375.
- [4] E. Santoso, "Design and construction of the alternative control system for neutron diffractometers and spectrometers at ptbin," *Urania*, vol. 14, no. 2, pp. 84–96, 2008.
- [5] T. H. Priyanto, Supandi, Bharoto, and H. Mugirahardjo, "Perancangan perangkat lunak untuk meningkatkan kualitas data difraksi neutron pada difraktometer neutron serbuk resolusi tinggi (hrpd)," in *Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar X ke 4*, December 2001, pp. 105–108.
- [6] A. Fajar, Gunawan, A. Maulana, and et al, "Neutron scattering in indonesia: The facility and activity," *Hamon*, vol. 20, no. 4, pp. 292–301, 2010.
- [7] J. S. Automation, *DIO-3248B Digital I/O Card User's Manual (V1.0)*.
- [8] Tedia. Pct-7424. [Online]. Available: www.tedia.eu/products/pct7424.html

Adaptive Beamforming Method for Cognitive Radio

Metode Adaptive Beamforming untuk Cognitive Radio

Agus Subekti

Pusat Penelitian Informatika
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Jln Cisit 21/154 D, Bandung 40135
Indonesia

Abstract

The difference in angle of arrival (AoA) is one of among opportunities to share frequency spectrum usage between primary users and secondary users. The direction of transmission beams can be shaped and be focused by using multi antenna. In this paper, we proposed beamforming technique at receiver side. The beam direction was arranged to have maximum at the arrival signal direction and minimum at the angle of reference signals. Using LMS (Least Mean Square) algorithm, weighting vectors were iteratively calculated to get the minimum MSE (Minimum Square Error). The proposed algorithm was evaluated using simulation for several step size values.

keywords: cognitive radio, adaptive beamforming, spectrum sensing

Abstrak

Salah satu peluang pemanfaatan spektrum secara bersama antara secondary users dan primary users adalah dengan memanfaatkan perbedaan sudut datang sinyal (*Angle of Arrival* - AoA). Dengan aplikasi multi antena, arah berkas dari masing-masing dibentuk dan dapat diatur sehingga terfokus dan tidak saling mengganggu karena memberikan interferensi. Pada tulisan ini diusulkan teknik beamforming di sisi penerima. Arah berkas dari larik dibuat maksimum pada arah datang sinyal dan minimum pada arah referensi. Dengan algoritma LMS (*Least Mean Square*), pembobot dihitung secara iteratif agar memberikan nilai MSE (*Minimum Square Error*) dari sinyal keluaran larik dan sinyal referensi yang minimum. Algoritma yang diusulkan selanjutnya dicoba disimulasikan untuk beberapa nilai parameter *step size*.

kata kunci: cognitive radio, adaptive beamforming, spectrum sensing

1. PENDAHULUAN

Cognitive radio adalah suatu sistem radio yang dapat mengubah parameter-paramater transmisinya berdasarkan interaksi dengan lingkungan operasinya [1]. *Cognitive radio* memiliki dua kemampuan yang membedakan dengan radio konvensional, yaitu *cognitive capability* dan *reconfigurability* [2, 3]. *Cognitive capability* mengacu pada kemampuan mendeteksi kondisi lingkungan seperti frekuensi transmisi yang sedang digunakan dan juga yang sedang tidak dipakai, jenis modulasi yang digunakan, besarnya daya pancar, bandwidth, dan lain-lain.

Sedangkan *reconfigurability* meliputi kemampuan untuk secara cepat menyesuaikan parameter transmisinya berdasarkan hasil deteksi lingkungan yang dilakukan dengan *cognitive capability* yang dimiliki.

Pada *cognitive radio*, terdapat 2 sistem yang dapat menggunakan spektrum frekuensi yang sama, primary networks dan secondary networks. Primary networks memiliki lisensi penggunaan frekuensi sedangkan *secondary networks tidak*. Ide dasar dari *cognitive radio* ini adalah pemanfaatan kembali spektral atau penggunaan bersama spektrum yang memungkinkan secondary networks/users memanfaatkan spectrum holes, untuk berkomunikasi menggunakan spektrum yang dialokasikan/diberikan lisensinya pada primary users ketika sedang tidak sedang dipakai baik secara spatial (pada lokasi tertentu) maupun secara temporal (pada waktu-waktu tertentu). Agar dapat melakukan hal tersebut, secondary users harus

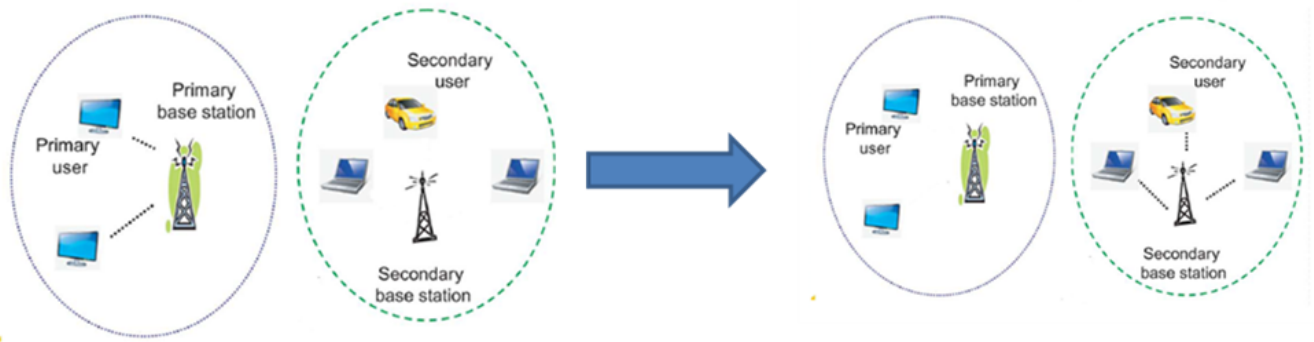
*Corresponding Author. Tel: +6222-2504711

Email: agus.subekti@lipi.go.id

Received: 3 Apr 2014; revised: 6 May 2014; accepted: 10 May 2014

Published online: 30 May 2014

© 2014 INKOM 2014/14-NO385



Gambar 1. Secondary user menggunakan spektrum yang sedang tidak digunakan oleh primary users

melakukan fungsi spectrum sensing. Spectrum sensing dilakukan untuk mendeteksi keberadaan sinyal dari primary users, apakah yang memiliki hak/lisensi sedang beroperasi atau tidak [4].

Pada umumnya, *cognitive capability* ditujukan lebih pada bagaimana mendeteksi spektrum frekuensi yang sedang tidak dipakai pada waktu tertentu. Kesempatan penggunaan spektrum frekuensi bersama dilakukan dengan mengeksplotasi dimensi frekuensi dan waktu. Tetapi sebenarnya terdapat kemungkinan lain yang dapat dimanfaatkan, yaitu antara lain [5]:

—*Geographical space*

Spektrum frekuensi yang sedang dipakai oleh primary user di suatu tempat, bisa jadi sedang tidak dipakai di tempat lain dengan jarak tertentu.

—Kode

Memanfaatkan spreading code, time hopping atau frequency hopping yang sedang tidak digunakan oleh primary users

—Sudut

Dengan mengetahui posisi dan arah beam dari primary user, secondary user dapat memanfaatkan komunikasi ke arah lain yang tidak mengganggu komunikasi primary user.

Studi yang dilakukan pada tulisan ini berkaitan dengan peluang pemanfaatan spektrum frekuensi secara bersamaan antara primary user dan secondary user dengan mengeksplotasi dimensi sudut masing-masing beam dan juga posisinya.

Untuk menentukan arah berkas (*direction of arrival/angle of arrival*) digunakan teknik multi antenna dan algoritma pengolahan sinyal larik [6]. Algoritma yang digunakan juga mencakup kemampuan untuk mengubah parameter pembobot secara adaptif. Sistem multi antenna yang digunakan untuk keperluan ini termasuk dalam kelas sistem antenna cerdas. Pada antenna cerdas, jarak antar elemen dibuat cukup dekat (biasanya

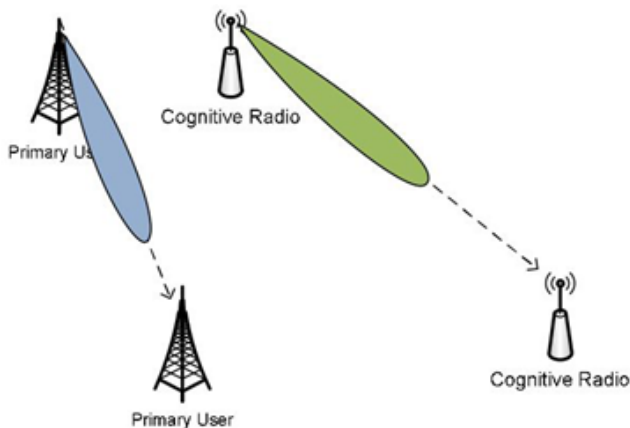
$\frac{\lambda}{2}$) sedemikian hingga sinyal pada tiap elemen larik saling berkorelasi. Penggunaan antenna cerdas pada cognitive radio diusulkan untuk menemukan lokasi dari primary users dan menerapkan transmit *beamforming* untuk menghindari interferensi spasial dengan sinyal dari primary users tersebut [7]. Pada tulisan ini dilakukan studi tentang aplikasi adaptif beamforming pada *cognitive radio* yang memanfaatkan informasi arah beam (*angle of arrival*) dari primary user. *Adaptive receive beamforming* digunakan untuk dapat menerima sinyal dari arah sudut datang tertentu, dan menolak interferensi pada sudut tertentu lainnya.

Tulisan ini diorganisasikan sebagai berikut: pada Bagian 2 akan dijelaskan masalah yang menjadi bahasan tulisan ini yaitu bagaimana meningkatkan efisiensi penggunaan spektrum frekuensi. Selanjutnya, pada Bagian 3 disajikan metodologi yang digunakan yaitu model komunikasi yang digunakan. Pada Bagian 4 akan disajikan hasil simulasi dan pembahasannya. Tulisan ini ditutup oleh Bagian 5 sebagai kesimpulan dan saran penelitian lebih lanjut.

2. DESKRIPSI MASALAH

Konsep cognitive radio digunakan pada sistem jaringan nirkawat untuk meningkatkan efisiensi penggunaan spektrum frekuensi. Pada sistem *cognitive radio* tersebut, terdapat 2 sistem jaringan yang dapat menggunakan spektrum frekuensi yang sama, yaitu jaringan primer (primary networks) dan jaringan sekunder (secondary networks). Jaringan primer memiliki lisensi penggunaan frekuensi secara eksklusif, sedangkan jaringan sekunder tidak. Jaringan sekunder, biasa juga disebut *cognitive radio*, hanya diperbolehkan menggunakan spektrum frekuensi yang sedang tidak dipakai oleh primary networks, seperti diilustrasikan pada Gambar 1. Spektrum yang sedang tidak dipakai ini, baik secara spatial (pada lokasi tertentu) maupun secara

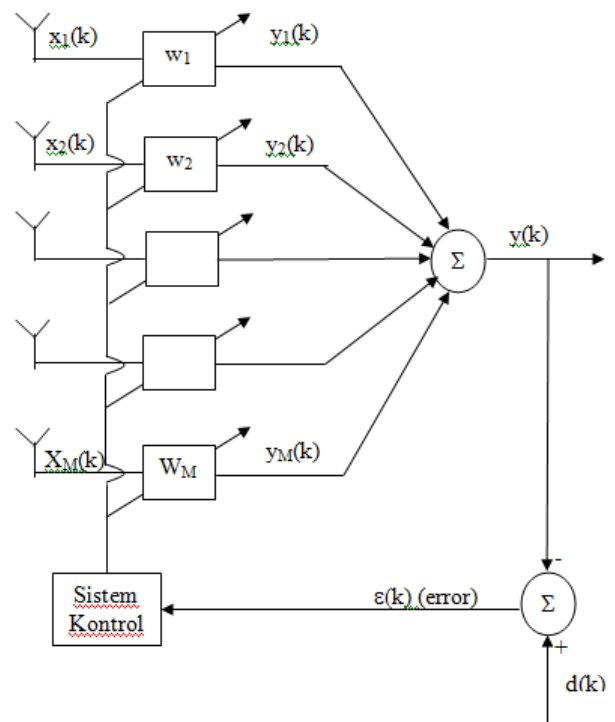
temporal (pada waktu-waktu tertentu) biasa disebut sebagai spectrum holes. Sebagai contoh beberapa standard yang menggunakan konsep ini antara lain ITU-R WP 1B, ITU-R WP 5A, IEEE SCC41, IEEE 802.11, IEEE 802.19, IEEE 802.21, IEEE 802.22 serta ETSI TC RRS. IEEE 802.22 Wireless RAN, termasuk standard *cognitive radio* yang paling awal, memanfaatkan frekuensi yang kosong pada spectrum jaringan primer televisi digital.



Gambar 2. Perbedaan AoA Primary User & Cognitive Radio [5]

Agar dapat memanfaatkan spektrum kosong (*spectrum hole*) dengan tidak menimbulkan gangguan interferensi yang mengganggu jaringan primer, *cognitive radio* harus melakukan fungsi spectrum sensing. Spectrum sensing berfungsi untuk mendeteksi keberadaan sinyal dari pengguna primer, yaitu apakah yang memiliki hak/pemegang lisensi sedang beroperasi atau tidak. Bila mendeteksi adanya spectrum holes, *cognitive radio* memiliki kesempatan untuk melakukan transmisi sinyal pada frekuensi tersebut. Tetapi transmisi tersebut harus segera dihentikan bila spectrum sensing mendeteksi keberadaan sinyal dari jaringan primer yang aktif pada frekuensi tersebut. Misalkan, spectrum sensing pada IEEE 802.22 Wireless RAN harus mendeteksi sinyal primer yang bersumber dari sistem TV digital (DTV) dan wireless microphone.

Gambar 2 memperlihatkan penggunaan spektrum frekuensi pada lokasi yang sama dengan membedakan arah berkas agar tidak menimbulkan interferensi. Misalkan pada fase sensing telah diketahui letak primary user dan arah dari berkas. Selanjutnya *cognitive radio* dapat melakukan transmit beamforming pada arah yang lainnya. Untuk menghindari interferensi yang saling mengganggu, pada studi ini diusulkan aplikasi receive beamforming dengan multi antenna.



Gambar 3. Sistem Multi Antenna Adaptive Beamforming

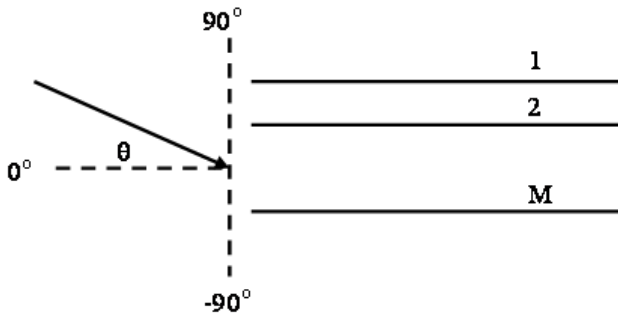
Penerimaan berkas dibuat maksimum pada arah sinyal dan minimum pada arah interferensi.

Penggunaan multi antenna pada komunikasi nirkawat sendiri dapat dikategorikan dalam dua pendekatan utama, yaitu pendekatan pada sistem multi-input-multi-output (MIMO) dan pendekatan pada sistem antenna cerdas/smart antenna. Sistem MIMO memanfaatkan independent sinyal dari tiap elemen antenna (sensor) untuk meningkatkan kinerja sistem terutama dalam meningkatkan bit error rates. Sistem MIMO memungkinkan tercapainya target bit error rates untuk sinyal dengan bandwidth lebar pada kondisi kanal multipath fading. Maximal ratio combining (MRC) dan selection processing (SP) termasuk dalam kategori MIMO ini. Pada MIMO diperlukan informasi tentang kanal, misalnya gain serta respon frekuensinya, untuk memaksimalkan SNR yang diterima dan/atau dalam rangka meningkatkan keandalan dengan diversity. Sebaliknya, antenna cerdas menggunakan korelasi antar elemen sinyal untuk merealisasikan pembentukan beam (beamforming). Pola radiasi antenna dapat didesain untuk mengarah pada sinyal yang diinginkan dan menurunkan interferensi. Beberapa aplikasi dari antenna cerdas pada komunikasi nirkawat antara lain adaptive null steering, phased array serta swiched beam.

Penelitian tentang penggunaan multi antenna untuk *cognitive radio* telah diuraikan pada beberapa tulisan. Beberapa diantaranya adalah:

- Multi antenna menggunakan adaptive nulling untuk mengurangi sensing dynamic range. Adaptive nulling adalah penapisan gelombang dengan kriteria tertentu, misalnya sudut datang, frekuensi, dan lain-lain. Sedangkan sensing dynamic range adalah rentang level tertinggi dan terendah sinyal yang dideteksi.
- Pada tulisan [8], dilakukan analisis performansi deteksi primary user menggunakan multi antenna dengan metode maximum ratio combining (MRC) dan selection processing (SP).

Implementasi adaptive nulling, MRC dan SP memerlukan informasi tambahan yang harus diketahui sebelumnya secara apriori, seperti *channel side information* (CSI) atau informasi arah primary user. Spectrum sensing dilakukan oleh *cognitive radio* pada fase sensing, yaitu mendeteksi kondisi spectrum disekitarnya pada fase awal, sehingga sistem antenna larik yang memerlukan informasi tambahan yang harus diketahui sebelumnya tidak praktis untuk diimplementasikan.



Gambar 4. Sudut Datang Sinyal pada Sistem Multi Antenna

3. METODOLOGI

Pada Gambar 3 dideskripsikan susunan penerima antenna larik. Tiap elemen antenna menerima versi sinyal yang besarnya bergantung beda fasa masing-masing elemen (sudut datang sinyal ($x_i(k)$)) seperti diilustrasikan pada Gambar 4. Sinyal dari tiap elemen ini kemudian dikalikan dengan suatu pembobot $w_i(k)$ dan dijumlahkan menghasilkan sinyal keluaran larik $y(k)$. Pada penerima terdapat sinyal referensi, yaitu sinyal yang diharapkan diterima $d(k)$. Selisih $d(k)$ dan $y(k)$ diharapkan seminimal mungkin, yaitu dengan mengatur pembobot w sedemikian hingga akan memberikan nilai maksimum pada sudut datang sinyal yang dikehendaki.

Persamaan sinyal error sebagai selisih sinyal estimasi dengan sinyal yang diharapkan dapat

dituliskan:

$$\epsilon(k) = d(k) - y(k) = d(k) - \bar{w}^H \bar{x}(k) \quad (1)$$

Di mana:

- $\epsilon(k)$: sinyal error, merupakan selisih dari sinyal keluaran larik dengan sinyal referensi
- $d(k)$: sinyal referensi
- $y(k)$: sinyal keluaran larik
- $\bar{w}^H$: larik pembobot adaptif, bernilai kompleks = $[w_1 \ w_2 \ \dots \ w_M]^T$,
- M = jumlah elemen larik
- $\bar{x}(k)$: sinyal masukan dari elemen sensor/antena. Sinyal masukan pada tiap elemen terdiri atas sinyal + interferer + noise ($\bar{X}_k = \bar{X}_s + \bar{X}_i + \bar{n}$)

Bila dilakukan operasi kuadrat dari error, akan didapatkan square error:

$$|\epsilon(k)|^2 = |d(k)|^2 - 2d(k)\bar{w}^H(k)\bar{x}(k) + \bar{w}^H(k)\bar{x}(k)\bar{x}^H(k)\bar{w}(k) \quad (2)$$

Selanjutnya pada kedua sisi persamaan diambil expected value:

$$E[|\epsilon(k)|^2] = E[|d(k)|^2] - 2\bar{w}^H(k)\bar{r} + \bar{w}^H(k)\bar{R}_{xx}\bar{w}(k) \quad (3)$$

Persamaan 3 merupakan persamaan mean square error (MSE) yang harus diminimumkan, di mana:

$$\begin{aligned} \bar{r} &= E[d^* \bar{x}] \\ \bar{R}_{xx} &= E[\bar{x} \bar{x}^H] \end{aligned} \quad (4)$$

Untuk mendapatkan nilai MSE, didefinisikan cost function yang harus diminimumkan, yaitu:

$$\begin{aligned} J(\bar{w}) &= D - 2\bar{w}^H \bar{r} + \bar{w}^H \bar{R}_{xx} \bar{w} \\ D &= E[|d|^2] \end{aligned} \quad (5)$$

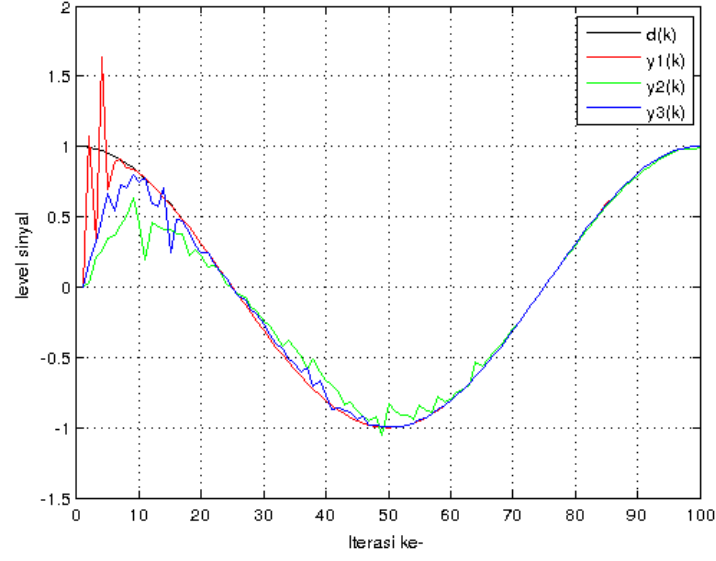
Menerapkan metode gradient untuk menemukan lokasi minimum:

$$\nabla_{\bar{w}}(J(\bar{w})) = -2\bar{r} + 2\bar{R}_{xx}\bar{w} \quad (6)$$

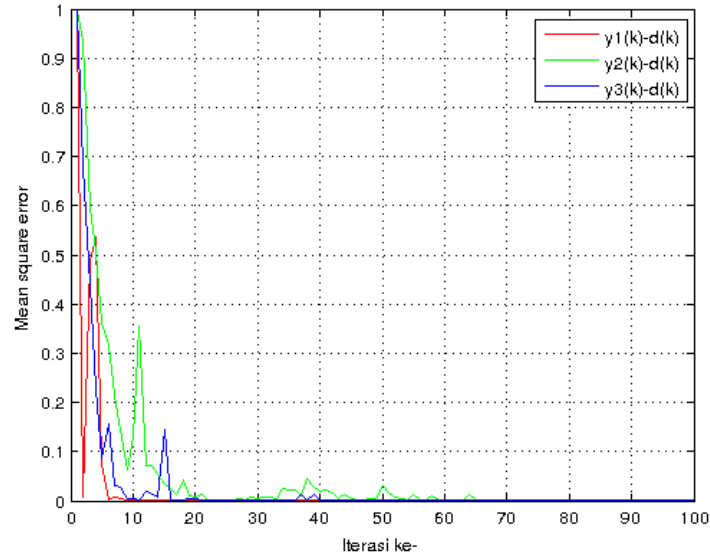
Minimum terjadi kalau gradient = 0, sehingga solusinya optimum Wiener:

$$\begin{aligned} 0 &= -2\bar{r} + 2\bar{R}_{xx}\bar{w} \\ \bar{R}_{xx}\bar{w} &= \bar{r} \\ \bar{w}_{opt} &= \bar{R}_{xx}^{-1}\bar{r} \end{aligned} \quad (7)$$

Untuk mendapatkan nilai $\bar{w}_{opt}$ (7), harus diketahui seluruh nilai statistic sinyal $\bar{R}_{xx}$ dan $\bar{r}$. Pada larik adaptif yang bekerja secara waktu nyata, nilai statistik tersebut tidak dapat diketahui sehingga



Gambar 7. Perbandingan Level Sinyal $y(k)$ & $d(k)$



Gambar 8. Perbandingan Mean Square Error (MSE)

perlu dilakukan estimasi. Secara umum, perlu dilakukan estimasi array correlation matrix ($\bar{R}_{xx}$) dan signal correlation vector ($\bar{r}$) pada rentang pengamatan atau saat waktu tertentu. Instantaneous estimates dari nilai ini dapat dituliskan sebagai:

$$\bar{R}_{xx}(k) \approx \bar{x}(k)\bar{x}^H(k) \quad (8)$$

dan

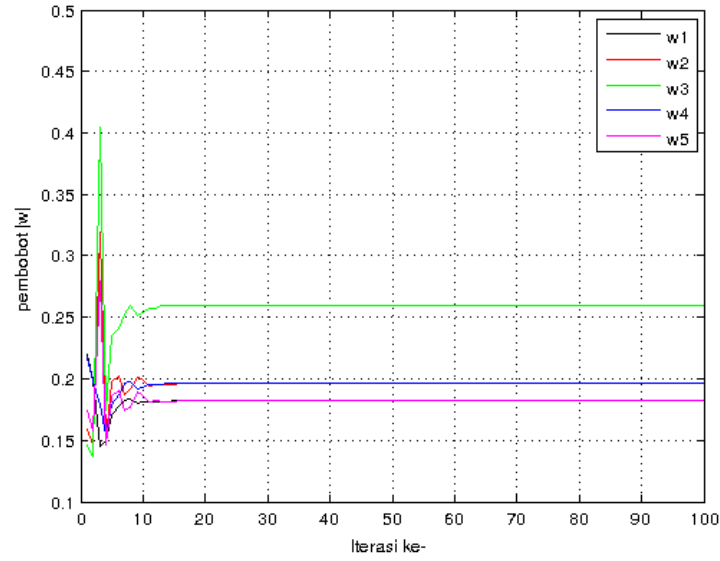
$$\bar{r}(k) \approx d^* \bar{x}(k) \quad (9)$$

Selanjutnya untuk meminimalkan cost function dapat dilakukan dengan teknik iterasi, antara lain dengan metode LMS (least mean square) [9] yang diusulkan pertama kali oleh Widrow, yaitu:

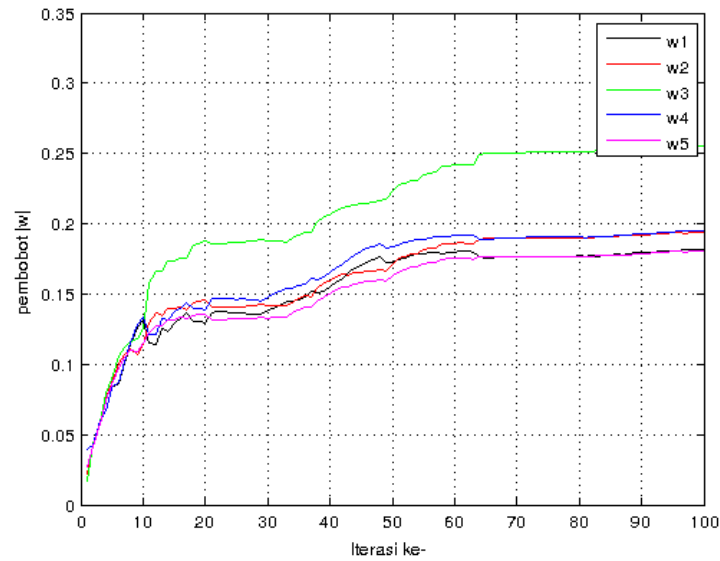
$$\bar{w}(k+1) = \bar{w}(k) - \frac{1}{2}\mu \nabla_w (J(\bar{w})) \quad (10)$$

Di mana:

- μ : parameter ukuran step
- ∇_w : gradient dari performance surface



Gambar 9. Adaptasi Nilai Pembobot w , $\mu = \mu_1$



Gambar 10. Adaptasi Nilai Pembobot w , $\mu = \mu_2$

Karena:

$$\nabla_w (J(\bar{w})) = -2\bar{r} + 2\bar{R}_{xx}\bar{w} \quad (11)$$

Maka solusi LMS untuk persamaan 10 menjadi:

$$\bar{w}(k+1) = \bar{w}(k) + \mu e^*(k) \bar{x}(k) \quad (12)$$

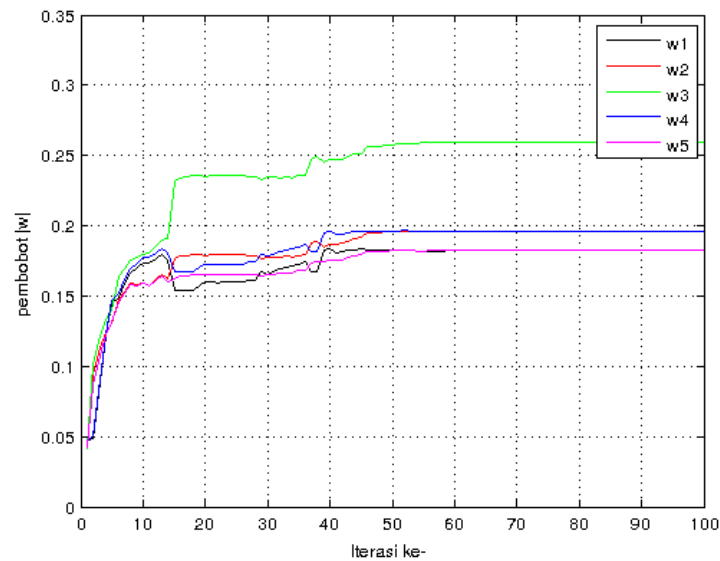
Di mana persamaan sinyal error:

$$e(k) = d(k) - \bar{w}^H(k) \bar{x}(k) \quad (13)$$

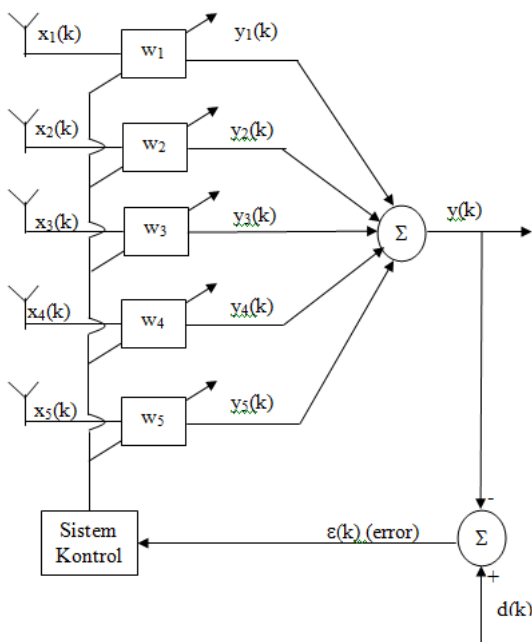
Persamaan 12 merupakan persamaan untuk menentukan nilai pembobot $\bar{w}$ dengan algoritma

LMS. Konvergensi dari algoritma ini bergantung secara proporsional pada nilai parameter step size μ . Bila μ terlalu kecil maka konvergensi akan terlalu lambat sehingga tidak bisa mengikuti perubahan sinyal yang datang. Sedangkan bila terlalu besar akan mengakibatkan algoritma tidak mencapai pembobot optimum. Batasan step size pada literatur adalah [10]:

$$0 \leq \mu \leq \frac{1}{2\lambda_{max}} \quad (14)$$



Gambar 11. Adaptasi Nilai Pembobot w , $\mu = \mu_3$

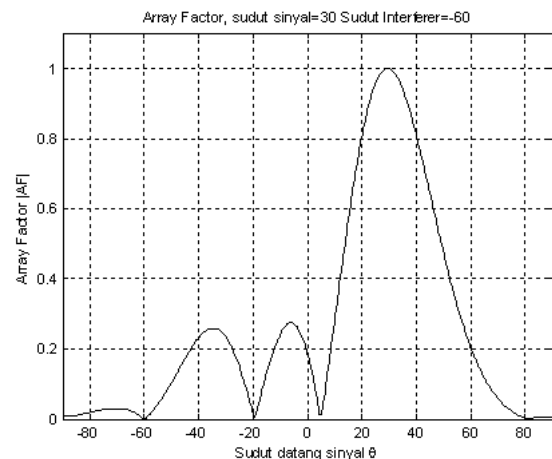


Gambar 5. Adaptive Beamforming dengan 5 elemen

Di mana λ_{max} merupakan nilai eigen terbesar dari larik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada studi ini dilakukan simulasi untuk mendapatkan pembobotan optimal dengan algoritma LMS. Pembobot yang optimal akan memberikan harga MSE minimum, yang berarti sinyal keluaran larik akan mirip dengan sinyal referensi. Sinyal referensi adalah sinyal yang sama dengan sinyal



Gambar 6. Array Factor dari Larik Adaptif

yang datang dari arah sudut datang sinyal yang diharapkan. Kasus yang dipakai pada studi ini adalah:

- Jumlah elemen: $N = 5$
- Jarak antar elemen $d = \lambda$
- Sudut datang sinyal = 30° ; sudut interferensi = -60°
- Nilai awal pembobot $\bar{w} = 0$
- Step size diberikan nilai bervariasi, untuk mengetahui beda hasil karena faktor ini
- Sinyal referensi $d(k)$ berupa sinyal sinusoidal
- Jumlah iterasi=100

Perhitungan nilai pembobot $w_1 - w_5$ dilakukan secara iteratif dengan rumus LMS seperti yang

ditulis pada persamaan 10. Nilai disebut konvergen bila harga $w_1 - w_5$ tersebut tidak berubah lagi. Struktur antenna larik dengan 5 elemen digambarkan pada Gambar 5.

Gambar 6 merupakan array factor dengan sudut sinyal 30° dan sudut interferer 60° . Array factor pada Gambar 6 memperlihatkan bahwa pembobot dari larik 5 antenna yang diset memberikan respon yang diharapkan, di mana akan maksimum pada sudut datang sinyal dan minimum pada sudut datang interferer. Sedangkan pada Gambar 7 ditunjukkan perbedaan sinyal yang diterima untuk 3 macam nilai step size yang diberikan yaitu untuk $\mu_1 = 0.1734$, $\mu_2 = 0.0217$, $\mu_3 = 0.0434$. Perbedaan sinyal estimasi dengan sinyal referensi dihitung errornya, yang ditunjukkan pada Gambar 8. Kecepatan konvergensi nilai pembobot w_i bergantung juga pada nilai μ seperti terlihat pada Gambar 9 untuk μ_1 , Gambar 10 untuk μ_2 dan Gambar 11 untuk μ_3 .

5. KESIMPULAN

Pada tulisan ini dilakukan studi aplikasi adaptif beamforming pada *cognitive radio*. Algoritma LMS digunakan untuk mencari fungsi pembobot yang membuat larik memberikan respon maksimal ke arah sudut datang sinyal dan minimal pada arah sudut datang interferer. Hasil simulasi menunjukkan bahwa beam larik dapat dibentuk sesuai dengan yang diinginkan. Waktu penyelesaian teknik ini bergantung pada nilai step size yang diberikan. Nilai step size harus dipilih sedemikian hingga algoritma dapat konvergen dengan cepat dan stabil.

Daftar Pustaka

- [1] FCC, "Spectrum policy task force report, fcc doc.et docket no. 02-135," FCC, Tech. Rep., 2002.
- [2] I.F.Akyildiz, "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey," *Springer Journal on Computer Networks*, vol. 50, pp. 2127–2159, 2006.
- [3] S.Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications," *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, vol. 23, no. 2, FEBRUARY 2005.
- [4] B.Wang and K.J.R.Liu, "Advances in cognitive radio networks: A survey," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 5, no. 1, February 2011.
- [5] T.Yucek and H.Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 11, 2009.
- [6] L. Godara, "Application of antenna arrays to mobile communications, part ii: Beam-forming and direction-of-arrival considerations," *Proceedings of The IEEE*, vol. 85, no. 8, pp. 1195–1245, August 1997.
- [7] K.L.Du and W.H.Mow, "Affordable cyclostionarity-based spectrum sensing for cognitive radio with smart antennas," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 59, no. 4, May 2010.
- [8] D.Cabric, "Physical layer design issue unique to cognitive radio systems," in *IEEE Personal Indoor and Mobile Comm. Conf.*, 2005.
- [9] B.Widrow, "Adaptive antenna systems," *Proceedings of the IEEE*, vol. 55, 1967.
- [10] F.Gross, *Smart Antenna for Wireless Communications*, F.Gross, Ed. McGraw Hill, 2005.

Panduan Penulisan

Ruang Lingkup

Jurnal INKOM menerima naskah yang berisi hasil penelitian, pengembangan, dan/atau pemikiran di bidang Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer. Naskah harus orisinal dan belum pernah dipublikasikan serta tidak sedang dalam proses publikasi di jurnal/media lain. Setiap naskah yang diterima akan dievaluasi substansinya oleh paling sedikit 2 orang pakar mitra bestari (peer reviewer) sebagai juri dalam bidang yang sesuai. Untuk menjunjung fairness proses penilaian dilakukan hanya pada isi naskah dengan menghilangkan identitas penulis (blind review). Penulis/para penulis bertanggung jawab sepenuhnya terhadap akurasi naskah. Penulis utama bertanggung jawab untuk sebelumnya menyelesaikan ijin penulisan yang berkaitan dengan hasil kerja anggota kelompoknya. Naskah yang diterima dianggap sudah menyelesaikan seluruh kewajiban (clearance) dan ijin reproduksi bila memuat hal-hal yang mengandung hak cipta (copyright) pihak lain.

Tata Penulisan

Naskah ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris. Naskah diketik dalam 2 kolom (ukuran kertas A4) dengan huruf Times New Roman ukuran 11, rata kanan-kiri. Naskah diawali dengan judul, nama penulis, instansi, alamat surat, dan alamat email untuk korespondensi. Isi naskah setidaknya berisi/menerangkan tentang pendahuluan, metoda, hasil, diskusi, kesimpulan, daftar pustaka. Ucapan terimakasih bila diperlukan dapat dituliskan setelah bagian kesimpulan. Naskah dilengkapi dengan abstrak (100-250 kata) diikuti kata kunci (4-8 kata) dalam bahasa Inggris dan Indonesia. Abstrak hendaknya menjelaskan tentang apa yang diteliti/dikembangkan/dipikirkan, metoda dan hasil sehingga isi naskah dapat tergambar tanpa membaca seluruh tulisan. Judul bagian naskah serta sub judul untuk bagian yang berbeda (pendahuluan, metoda, hasil, diskusi, kesimpulan) diberikan nomor arab secara bertingkat (1, 1.1, dst). Satuan ukuran yang digunakan serta singkatannya mengikuti aturan International System of Units (SI). Persamaan dinomori berurutan dengan nomor arab dalam kurung di sebelah kanan persamaan (rata kanan). Penggunaan simbol dalam persamaan diberi keterangan dalam bagian naskah di bawahnya. Penyisipan gambar dan tabel disertai dengan judul singkat di bawahnya (untuk gambar) dan di atasnya (untuk tabel) serta diberi nomor berurutan. Seluruh gambar dan tabel yang digunakan harus diulas pada bagian tulisan.

Rujukan

Daftar rujukan yang dikutip dituliskan pada bagian akhir naskah dengan judul Daftar Pustaka dan diberikan nomor urut sesuai dengan urutan pengutipan pada naskah. Bagian naskah yang mengacu pada satu atau beberapa literatur lain hendaknya mencantumkan nomor urut referensi pada daftar pustaka. Pengacuan acuan pada naskah dengan menggunakan notasi [nomor acuan] seperti: [1] (artikel pada jurnal), [2] (artikel pada prosiding) dan [3] (buku). Berikut ini adalah contoh daftar pustaka:

Daftar Pustaka

- [1] D. Rosiyadi, S.-J. Horng, P. Fan, X. Wang, M. Khan, and Y. Pan, "Copyright protection for e-government document images," *MultiMedia, IEEE*, vol. 19, no. 3, pp. 62–73, 2012.
- [2] A. F. M. Hani, E. Prakasa, H. Nugroho, A. Affandi, and S. Hussein, "Body surface area measurement and soft clustering for pasi area assessment," in *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE*, 2012, pp. 4398–4401.
- [3] D. E. Knuth, *The T_EXbook*. Addison-Wesley, 1984.

Template

Template tata penulisan naskah dapat didownload di

<http://jurnal.informatika.lipi.go.id/index.php/inkom/about/submissions#authorGuidelines>

Jurnal INKOM

Pusat Penelitian Informatika
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Komp. LIPI Gd. 20 Lt. 3
Sangkuriang, Bandung, 40135
Email: jurnal@informatika.lipi.go.id
Telp: +62 22 2504711
Fax: +62 22 2504712
<http://jurnal.informatika.lipi.go.id>

