

ABSTRAK

PENGINDERAAN KOMPRESIF UNTUK REKONSTRUKSI Matrik Trafik

Oleh

INDRARINI DYAH IRAWATI

NIM: 33215002

(Program Studi Doktor Teknik Elektro dan Informatika)

Penginderaan kompresif merupakan paradigma baru dalam bidang pengolahan sinyal yang telah banyak diterapkan pada berbagai aplikasi seperti pada pemampatan sinyal video dan audio, estimasi arah kedatangan sinyal pada radar, deteksi radar cuaca, pemodelan trafik telekomunikasi, dan lain-lain. Teorema ini memanfaatkan kejarangan sinyal pada kawasan transformasi sehingga dapat mengurangi jumlah sampel pencuplikan di bawah laju pencuplikan Shannon-Nyquist. Pada penelitian ini, teknik penginderaan kompresif diaplikasikan untuk rekonstruksi matrik trafik (MT) di jaringan internet, dengan tujuan efisiensi kapasitas penyimpanan. Di samping itu, juga bermanfaat untuk pemantauan trafik di jaringan, memprediksi jalur sensitif, dan memprediksi kejadian anomali.

MT merupakan representasi trafik yang mengalir antar ruter di jaringan pada waktu pengamatan tertentu. Eksplorasi kejarangan pada MT ini dilakukan dengan membandingkan teknik penjarang yang terdiri dari Principal Component Analysis (PCA), Singular Value Decomposition (SVD), dan Singular Value Decomposition Mean (SVDM). Pada data trafik internet, besar konsentrasi energi setelah transformasi dinyatakan sebagai *rank*. Penelitian ini menggunakan *rank* sebagai parameter untuk menyatakan kejarangan informasi pada kawasan jarang. Hasil pengujian pada penggunaan *rank* menentukan bahwa teknik SVD paling tepat digunakan untuk memperoleh kejarangan pada data trafik. Pada kondisi trafik normal, batas minimal *rank* untuk rekonstruksi dengan target NMSE kurang dari 0.2 adalah 10%. Sedangkan pada trafik yang dihilangkan secara acak, batas minimal *rank* adalah 60%.

Skema akuisisi diperoleh dari percobaan delapan matrik pengukuran yang dihasilkan secara acak menggunakan distribusi *Uniform, Normal, Binary, Half-normal, Log-normal, Binomial, Poisson*, dan *Exponential*. Pada simulasi, digunakan matrik pengukuran berukuran $m \times r$, dengan pengujian untuk jumlah pengukuran yang berbeda dan $m < r$. Parameter pengujian dinyatakan dalam rasio kompresi minimal, yaitu 1 dengan kesalahan terkecil. Hasil simulasi menunjukkan bahwa matrik pengukuran dengan distribusi Normal menghasilkan kesalahan terkecil terhadap hasil rekonstruksi.

Algoritma rekonstruksi pada skema penginderaan kompresif terdiri dari dua skema besar, yaitu *Basis Pursuit* (BP) yang memenuhi minimal norma orde-1 (l_1 -norm) dan *greedy*. Algoritma berbasis l_1 -norm memperoleh perhatian yang cukup besar di kalangan peneliti karena menghasilkan akurasi hasil rekonstruksi yang baik, akan tetapi algoritma ini memiliki kekurangan karena komputasi yang cukup berat. Algoritma *greedy* unggul dalam hal kecepatan komputasi dengan kekurangan pada hasil rekonstruksi. Pada penelitian ini digunakan algoritma rekonstruksi $SVDL_1$, Iteratively Reweighted Least Square (IRLS), dan Orthogonal Matching Pursuit (OMP).

Fokus pada penelitian ini adalah menyusun pemodelan penginderaan kompresif untuk rekonstruksi MT pada jaringan internet yang direpresentasikan secara spasial dan temporal. Kejarangan MT diperoleh dari dekomposisi SVD. Penggunaan matrik pengukuran dihasilkan secara acak dari distribusi Normal. Pengujian jumlah pengukuran dilakukan untuk mengetahui jumlah sampel minimal sehingga menghasilkan matrik rekonstruksi dengan kesalahan $< 20\%$. Pengujian keberhasilan rekonstruksi dilakukan dengan menghilangkan elemen pada MT secara acak dengan probabilitas nilai hilang sebesar 2%-98%. Selain itu, dikembangkan pula pemodelan penginderaan kompresif dengan skema vektor jarang dan matrik jarang yang diterapkan pada algoritma rekonstruksi $SVDL_1$, IRLS, dan OMPO serta EDMIN. Perbaikan untuk meningkatkan kinerja algoritma rekonstruksi OMP dilakukan dengan penambahan interpolasi teroptimasi untuk mengatasi permasalahan nilai nol pada hasil rekonstruksi. Serta algoritma rekonstruksi baru, yaitu EDMIN. Di samping itu, peningkatan kinerja juga dilakukan setelah rekonstruksi SVD, yaitu dengan penambahan interpolasi Bilinear. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model yang diusulkan dapat meningkatkan akurasi dengan menurunkan NMSE, mengatasi permasalahan trafik hilang dengan enam tipe, yaitu *missing row elements* (MRE), *missing column elements* (MCE), *missing rows at random* (MRR), *missing columns at random* (MCR), *missing elements at random* (MER), dan *combine missing patterns* (CMP), menentukan lokasi link sensitif, dan mendeteksi waktu sensitif.

Kata kunci: akurasi, penginderaan kompresif, representasi spasial-temporal, trafik internet, rekonstruksi, kejarangan

ABSTRACT

COMPRESSIVE SAMPLING FOR MATRIX TRAFFIC RECONSTRUCTION

By

Indrarini Dyah Irawati

NIM: 33215002

(Doctoral Program in Electrical Engineering and Informatic)

Compressive sampling (CS) is a new paradigm in the field of signal processing that has been widely applied to various applications such as compression of video and audio signals, direction of arrival estimation on radar, weather radar detection, telecommunication traffic modeling, and others. This theorem utilizes signal sparsity in the transformation region to reduce the number of samples, which sampled below the Shannon-Nyquist sampling rate. In this study, the CS technique was applied to reconstruct of internet traffic matrix in the internet network. This is useful for monitoring network traffic, predicting links sensitive, and predicting anomalous events.

The traffic matrix is a representation of traffic that flows between routers on the network at certain times of observation. Exploration of the sparsity in the traffic matrix is done by comparing the sparsity technique consisting of Principal Component Analysis (PCA), Singular Value Decomposition (SVD), and Singular Value Decomposition Mean (SVDM). In internet traffic data, the amount of energy concentration after transformation is expressed as rank. This study uses rank as a parameter to express information misery in the sparsity region. The test results on the use of rank determine that the SVD technique is best used to obtain sparsity in internet traffic data. In normal traffic conditions, the minimum rank for reconstruction with NMSE targets $< 20\%$ is 10%. Whereas in traffic that is randomly missed, the minimum limit of rank is 60%.

The acquisition scheme was obtained from an experiment of eight measurement matrices generated randomly using Uniform, Normal, Binary, Half-normal, Log-normal, Binomial, Poisson, and Exponential distributions. In the simulation, the measurement matrix measuring $m \times r$ is used, by testing for a different number of measurements and $m < r$. Test parameters are expressed in a minimum compression ratio (CR), which is 1 with the smallest error. The simulation results show that the measurement matrix with the Binomial distribution produces the smallest error of the reconstruction results.

The reconstruction algorithm in the CS scheme consists of two major schemes, namely Base Pursuit (BP) that meets the minimum l_1 -norm and greedy. The l_1 -norm based algorithm received considerable attention among researchers because it produced a good accuracy in the results of reconstruction, but this algorithm has disadvantages because computing is quite heavy. The greedy algorithm excels in terms of computational speed with deficiencies in

reconstruction results. In this study, we used the algorithm for reconstructing $SVDL_1$, IRLS, and Orthogonal Matching Pursuit (OMP) algorithms.

The focus of this research is to compile CS modeling for the internet traffic matrix reconstruction, which is represented spatial-temporally. Traffic matrix sparsity is obtained from SVD decomposition. The use of a measurement matrix is generated randomly from the Normal distribution. Testing of measurement number is done to find out the minimum number of samples resulting in a reconstruction matrix with an error of $<20\%$. Testing the success of reconstruction is done by removing elements in the traffic matrix randomly with the probability of missing values of 2% - 98% . In addition, compressive sensing modeling was developed with the scheme of sparse vectors and the sparse matrix applied to the $SVDL_1$, IRLS, and OMPO, EDMIN reconstruction algorithms. To improve the performance of the OMP reconstruction algorithm are carried out with the addition of optimized interpolations to overcome zero value problems in the reconstruction results. As well as the proposed new reconstruction algorithm, namely EDMIN. In addition, performance improvements were also made after SVD reconstruction, namely with the addition of Bilinier interpolation. Simulation results show that the proposed model can improve accuracy by reducing NMSE, overcoming missing six-type traffic problems, namely Missing Row Elements (MRE), Missing Column Elements (MCE), Missing Rows at Random (MRR), Missing Columns at Random (MCR), Missing Elements at Random (MER), and Combine Missing Patterns (CMP), determine the location of sensitive links, and detect the sensitive time.

Keywords: accuracy, compressive sensing, spatial-temporal representation, internet traffic, reconstruction, sparsity