

## ABSTRAK

### SINKRONISASI WAKTU YANG KOKOH UNTUK SISTEM *MOBILE OFDM* DAN *COGNITIVE RADIO* BERBASIS OFDM

Oleh

**Suyoto**

**NIM: 33213015**

**(Program Studi Doktor Teknik Elektro dan Informatika)**

Kehandalan dalam transmisi data dengan kecepatan tinggi memiliki beberapa tantangan dalam komunikasi bergerak (*mobile communication*), karena pengiriman data mengalami *delay spread* yang tinggi dan *link* kanal berubah-ubah secara cepat. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) adalah teknik modulasi yang cocok untuk aplikasi dengan *delay spread* yang tinggi. Namun kinerja OFDM sangat sensitif terhadap kesalahan sinkronisasi waktu. Kinerja sistem OFDM dipengaruhi oleh sinkronisasi waktu, estimasi kanal, dan mobilitas. Kesalahan dalam estimasi waktu tidak hanya menyebabkan InterSymbol Interference (ISI) tetapi juga menurunkan kinerja sistem OFDM secara keseluruhan. Persyaratan untuk sinkronisasi akan tinggi dengan meningkatnya kompleksitas sistem. Sebagai contoh, dalam lingkungan bergerak pengaruh *delay spread* akan meningkat dan *link* (lintasan) kanal berubah dengan cepat.

Metode *autocorrelation* dengan menggunakan simbol *training* merupakan algoritma sinkronisasi yang paling populer karena kompleksitasnya rendah sehingga mudah diimplementasikan. Akan tetapi, metode *autocorrelation* memiliki kelemahan dalam hal ketidakkokohan dalam menghadapi kanal *multipath*. Metode-metode perbaikannya meskipun meningkatkan kinerja, pada umumnya tidak kokoh terhadap kanal *multipath* dengan *delay spread* yang tinggi. Sedangkan metode-metode sinkronisasi waktu yang tidak menggunakan simbol *training* (*blind time synchronization*) sangat kompleks dan kinerjanya rendah dalam kanal *multipath*. Terkait dengan kelemahan tersebut, fokus dari penelitian yang dilakukan adalah pada masalah terkait dengan algoritma sinkronisasi waktu yang kokoh (*robust*) dalam menghadapi kanal *multipath* dengan *delay spread* yang tinggi serta dilakukan dengan menggunakan simbol *training*.

Sinkronisasi waktu dilakukan dalam 2 tahap. Pada tahap 1 (sinkronisasi waktu *coarse*) dilakukan dengan menghitung *autocorrelation* dari korelator simetris, kemudian hasil dari sinyal *autocorrelation* dimodelkan secara matematis sebagai masalah *binary hypothesis testing* antara kondisi tidak ada simbol *training* (H0) dengan ada simbol *training* (H1). Pada metode yang diusulkan dilakukan pemecahan masalah *binary hypothesis testing* tersebut dengan perbedaan fungsi PDF (Probability Density Function) dari sinyal hasil korelator simetris yang diterima. Secara matematis diturunkan bahwa PDF-nya berbeda pada kedua kondisi

tersebut. Selanjutnya diusulkan algoritma untuk membedakannya dengan menggunakan normalisasi momen pusat orde tinggi. Distribusi pada saat ada simbol *training* memiliki *mean* yang lebih tinggi dari distribusi pada saat tidak ada simbol *training*.

Metode sinkronisasi waktu *coarse* yang diusulkan menghitung momen pusat dan membandingkan dengan nilai rata-ratanya. Setelah mendapatkan nilai maksimumnya kemudian dibandingkan dengan *threshold*. Pada tahap 2 dilakukan sinkronisasi waktu *fine* dengan menggunakan teknik *cyclic shift* dari estimasi kanal, sehingga didapatkan performansi sinkronisasi waktu secara keseluruhan menjadi lebih baik. Pengujian algoritma dilakukan dengan mengevaluasi kinerjanya dengan ukuran MAE (*Mean Absolute Error*) dan MSE (*Mean Squared Error*) pada lingkungan kanal *multipath* dengan *delay spread* yang tinggi. Hasil evaluasi yang dilakukan pada kanal *multipath* dengan *delay spread* tinggi (kanal *vehicular B*) didapatkan *gain* lebih besar dari 25 dB pada uji MAE dan didapatkan *gain* lebih besar dari 20 dB pada uji MSE.

Selanjutnya algoritma juga diuji pada sistem *Cognitive Radio* (CR) berbasis OFDM, dimana pada sistem ini diganggu dengan adanya *narrowband interference* (NBI) dan *wideband interference* yang cukup tinggi. Hasil evaluasi yang dilakukan pada kanal *vehicular B* dengan NBI yang tinggi (SIR= 0 dB) didapatkan *gain* lebih besar dari 20 dB dari metode *autocorrelation* pada uji MAE. Hasil evaluasi yang dilakukan pada kanal *vehicular B* dengan *wideband interference* yang tinggi (SIR= 0 dB) didapatkan *gain* lebih besar dari 20 dB dari metode *autocorrelation* pada uji MAE. Selain memiliki kinerja yang kokoh dalam kanal *multipath* dengan *delay spread* yang tinggi, algoritma yang diusulkan juga kokoh terhadap NBI, *wideband interference*, dan dapat beradaptasi pada menggunakan *pilot* (*subcarrier* yang digunakan untuk sinkronisasi) yang lebih sedikit.

Kata kunci: ISI, *mobile*, link kanal, OFDM, sinkronisasi waktu, NBI, *Cognitive Radio*

## **ABSTRACT**

### **ROBUST TIMING SYNCHRONIZATION FOR MOBILE OFDM AND COGNITIVE RADIO BASED SYSTEMS**

by

**Suyoto**

**NIM: 33213015**

**(Doctoral Program in Electrical Engineering and Informatics)**

*High data transmission in mobile communications faces several challenges, due to high delay spread and rapid change of wireless channel. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) is a suitable modulation technique for applications with high delay spreads. However, OFDM performance is very sensitive to time synchronization errors. The performance of OFDM systems is influenced by timing synchronization, channel estimation, and mobility. Errors in time estimates not only cause InterSymbol Interference (ISI) but also degrade the performance of OFDM system as a whole. Requirements for synchronization will be high with increasing complexity system. For example, in a moving environment the effect of delay spread will increase and channel links change rapidly.*

*The autocorrelation method using training symbol is the most popular algorithm for synchronization because of its low complexity so it's easy implemented. However, the autocorrelation method has weaknesses in terms of robustness in dealing with multipath channels. Improvement methods, although improving performance, are generally not robust to multipath channels with high delay spread. While time synchronization methods that do not use training symbol (blind time synchronization) are very complex and low performance in multipath channel. Related to these weaknesses, the focus of the research carried out was on problems related to robust time synchronization algorithms in dealing with multipath channels with a high delay spread and done by using training symbol.*

*Time synchronization is done in 2 stages. In stage 1 (time synchronization coarse) is done by calculating autocorrelation from the symmetrical correlator, then the results of the autocorrelation signal are mathematically modelled as a binary hypothesis testing problem between conditions there is no training symbol ( $H_0$ ) with conditions there is a training symbol ( $H_1$ ). The proposed method is carried out solving the binary hypothesis testing problem with the difference in the PDF (Probability Density Function) function of the symmetrical correlator signal received. Mathematically derived that the PDF is different in both conditions. Furthermore, the algorithm is proposed to distinguish it by using normalization of high order central moment. Distribution when there is a training symbol has a higher mean of distribution when there is no training symbol.*

*The proposed coarse time synchronization method calculate the central moment and*

*compares it with its average value. After getting the maximum value then compared to the threshold. In stage 2 fine time synchronization is done by using the cyclic shift technique from channel estimation, so that overall synchronization time performance is better. Algorithm testing is done by evaluating its performance with the size of MAE (Mean Absolute Error) and MSE (Mean Squared Error) in multipath channel environments with high delay spread. The evaluation results performed on multipath channels with high delay spread (vehicular B channel) obtained a gain greater than 25 dB in the MAE test and obtained a gain greater than 20 dB in the MSE test.*

*Furthermore, we also tested the algorithm on OFDM-based Cognitive Radio (CR) systems, where the system was interrupted by narrowband interference (NBI) and wideband interference which was high. Evaluation results conducted on vehicular B channel with a high NBI (SIR= 0 dB) obtained a gain greater than 20 dB from the autocorrelation method in the MAE test. Evaluation results conducted on vehicular B channel with a high wideband interference (SIR= 0 dB) obtained a gain greater than 20 dB from the autocorrelation method in the MAE test. In addition to having good performance in multipath channel with high delay spread, the proposed algorithm is also good against NBI, wideband interference, and can adapt to the use of fewer pilots.*

*Keywords: ISI, mobile, channel links, OFDM, timing synchronization, Cognitive Radio*