

Ultra-wide band indoor positioning system atau disingkat UWB IPS adalah sebuah sistem pelacak posisi *transceiver* UWB yang beroperasi berdasarkan informasi dari *transceiver* UWB lainnya. Penelitian ini mengeksplorasi salah satu teknik *positioning* yang cukup populer digunakan pada UWB IPS, yaitu *time difference of arrival* atau biasa dikenal sebagai TDoA. Dibandingkan teknik lainnya, UWB IPS berbasis TDoA memiliki banyak kelebihan, di antaranya kemampuan *positioning* secara *real-time*, kapasitas *tag* yang besar, dan keramahan di sisi pengguna. Namun, sebagai konsekuensinya, UWB IPS berbasis TDoA menjadi teknik yang kompleks untuk diimplementasikan. Sistem ini memerlukan perhatian khusus pada berbagai aspek agar dapat berfungsi dengan optimal, seperti penempatan *anchor*, metode kalibrasi, metode sinkronisasi, pemilihan algoritma *positioning*, dan penapisan hasil *positioning*. Penelitian ini membahas tiga masalah terkait aspek-aspek tersebut: beda waktu antar-*clock transceiver* UWB, pemilihan dimensi dan algoritma TDoA, dan desain penapisan hasil *positioning*.

Pengujian untuk mengidentifikasi beda waktu antar-*clock transceiver* UWB dilakukan dengan merekam waktu penerimaan sinyal dari empat buah *transceiver* UWB yang berbeda secara periodik berdasarkan pemanggilan sebuah *transceiver* UWB. Hasil pengujian menunjukkan bahwa hubungan beda waktu antar-*clock transceiver* UWB adalah 'cukup linier' dengan rerata kemiringan beda waktu sebesar 2.700 ns/s. Selama 20 detik pengujian, faktor nonlinier telah menggeser beda waktu sebesar 14 ns dari total beda waktu 54.000 ns. Faktor nonlinier ini dapat dikompensasi dengan mempersingkat periode sinkronisasi waktu pada sistem.

Pengujian berikutnya adalah membandingkan empat buah algoritma *positioning* TDoA: Chan dan Newton-Raphson, masing-masing dalam dua dan tiga dimensi. Algoritma *positioning* dibandingkan dengan menghitung eror hasil *positioning* di berbagai titik posisi yang membentuk latis di area sekitar *anchor*. Lebih lanjut, untuk membandingkan performa dimensi algoritma, *tag* disebar pada dua variasi ketinggian: sejajar *anchor* dan 1, 2 m di bawah *anchor*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma dua dimensi lebih baik dibandingkan algoritma tiga dimensi pada kasus *tag* sejajar *anchor*. Sebaliknya, pada kasus *tag* tidak sejajar *anchor*, algoritma tiga dimensi jauh mengungguli algoritma dua dimensi. Algoritma tiga dimensi memiliki performa yang stabil di kedua variasi ketinggian. Berdasarkan hasil yang sama, dapat disimpulkan juga bahwa algoritma Chan lebih unggul dibandingkan algoritma Newton-Raphson di semua kasus.

Peneliti menggunakan Kalman *filter* (KF) untuk mendesain tapis yang sesuai untuk UWB IPS berbasis TDoA. Peneliti menambahkan model kovarians derau proses, kovarians derau observasi, dan efek *memory fading* pada KF untuk memberikan kemampuan adaptasi kepada KF. Dengan demikian, KF yang dimodifikasi tidak memerlukan set parameter awal untuk dapat bekerja. Pengujian dilakukan dengan membandingkan KF termodifikasi dengan KF konvensional yang kerap digunakan. Berdasarkan hasil pengujian, KF termodifikasi jauh lebih baik dibandingkan KF konvensional dan mampu beradaptasi dengan baik pada kasus koneksi *tag* yang terputus sesaat.

Kata kunci: *ultra-wide band, indoor positioning system, real-time localization, time difference of arrival, kalman filter.*

ABSTRACT

The ultra-wide band indoor positioning system, abbreviated as UWB IPS, is a position tracking system based on UWB transceivers. This research explores one of the techniques commonly used in UWB IPS, known as time difference of arrival (TDoA). TDoA-based UWB IPS has many advantages compared to other techniques, including real-time positioning capability, tag scalability, and user-friendliness. On the contrary, TDoA-based UWB IPS is one of the most complex to implement. This research looked at three problems that are related to the issue in TDoA-based UWB IPS: the time difference model between UWB transceiver clocks, the selection of TDoA dimensions and algorithms, and filter design.

The experiment to identify the time difference model between UWB transceiver clocks was conducted by recording the signal reception time from four different UWB transceivers. The signal received came from another UWB transceiver. The experiment shows that the time difference model is 'fairly linear' with an average time difference slope of 2,700 ns/s. The test ran for 20 seconds, and it observed that the clock's nonlinear factors shifted the time difference by 14 ns from a total time difference of 54,000 ns. These small nonlinear factors can be compensated for by shortening the time synchronization period in the system.

The next experiment was to compare four TDoA positioning algorithms: Chan and Newton-Raphson, each in two and three dimensions. The positioning algorithms were compared by calculating the position error at various points, forming a lattice around the area constructed by the anchors. Furthermore, the dimensions are compared by placing tags at two height variations: level with the anchors and 1.2 meters below the anchors. The experiment results showed that the two-dimensional algorithm performed better than the three-dimensional algorithm in the case where the tag was level with the anchors. Conversely, in the case where the tag was below the anchors, the three-dimensional algorithm significantly outperformed the two-dimensional algorithm. The three-dimensional algorithm demonstrated stable performance at both height variations. Based on the same experimental results, it can also be concluded that the Chan algorithm performed better than the Newton-Raphson algorithm in all cases.

In this study, the Kalman Filter (KF) was redesigned to better suit the TDoA-based UWB IPS. The researcher added a process noise covariance model, an observation noise covariance model, and a memory fading effect to provide adaptive behavior to the KF. Consequently, the modified KF does not require any initial parameter settings to function properly. To test the modified KF, an experiment was conducted by comparing the resulting filter with the conventional KF. Based on the test results, the modified KF was significantly better than the conventional KF and was able to adapt well in cases where the tag connection was temporarily lost.

Keywords: *ultra-wide band, indoor positioning system, real-time localization, time difference of arrival, kalman filter.*