

Nama : Satya Athaya D
NIM : 1103213152

Analisis

Kalman Filter (KF) dan variasinya, seperti Extended Kalman Filter (EKF) dan Unscented Kalman Filter (UKF), adalah alat penting dalam estimasi keadaan untuk sistem navigasi dan pelacakan. Pada konteks robotika, navigasi drone, dan pelacakan objek bergerak, pendekatan ini digunakan untuk mengintegrasikan data dari berbagai sensor dan menghasilkan estimasi posisi, kecepatan, serta orientasi yang akurat, bahkan dalam kondisi lingkungan yang penuh gangguan.

Extended Kalman Filter (EKF)

EKF adalah generalisasi Kalman Filter untuk sistem non-linear. Ia bekerja dengan melakukan aproksimasi linier pada model sistem menggunakan Jacobian, yang merupakan derivatif parsial dari fungsi non-linear. Dalam aplikasi navigasi robot yang menggunakan GPS dan IMU, EKF berperan untuk:

- **Mengintegrasikan data GPS dan IMU:** GPS menyediakan data posisi absolut meskipun dengan noise tinggi, sementara IMU memberikan informasi percepatan dan orientasi relatif. EKF menggabungkan kedua sumber ini untuk menghasilkan estimasi yang lebih stabil dan konsisten.
- **Mengatasi non-linearitas:** Meski GPS dan IMU menghasilkan data yang seringkali non-linear, EKF mampu mengolahnya dengan pendekatan linier pada setiap langkah prediksi dan update. Namun, efektivitasnya bergantung pada akurasi linierisasi.
- **Keterbatasan EKF:** EKF menjadi kurang andal pada sistem yang sangat non-linear atau dalam kondisi noise tinggi yang tidak mengikuti distribusi Gaussian. Kesalahan linierisasi dapat mengakibatkan bias pada estimasi.

Unscented Kalman Filter (UKF)

UKF adalah solusi alternatif yang dirancang untuk mengatasi kelemahan EKF, terutama pada sistem non-linear yang kompleks. Alih-alih melakukan linierisasi, UKF menggunakan

Unscented Transform (UT) untuk secara langsung memodelkan distribusi probabilitas:

- **Pendekatan Sigma Points:** UKF memilih sejumlah titik (sigma points) yang mewakili distribusi Gaussian. Titik-titik ini diproyeksikan melalui fungsi non-linear untuk menghitung mean dan kovariansi baru tanpa memerlukan Jacobian.
- **Keunggulan pada kondisi noise tinggi:** UKF mampu menghasilkan estimasi yang lebih akurat dibandingkan EKF, terutama ketika noise tidak Gaussian atau ketika terdapat gangguan sinyal, seperti di lingkungan perkotaan dengan multipath pada GPS.
- **Kebutuhan komputasi lebih besar:** Pendekatan ini membutuhkan lebih banyak perhitungan dibandingkan EKF, tetapi memberikan keuntungan signifikan dalam akurasi.

Kalman Filter Standar untuk Pelacakan Objek

Untuk pelacakan objek bergerak, Kalman Filter (KF) klasik tetap menjadi pilihan yang efisien. KF bekerja dengan memadukan prediksi berdasarkan model gerak (motion model) dan pengukuran dari sensor untuk menghasilkan estimasi yang optimal:

- **Model gerakan linear:** KF mengandalkan model gerak sederhana, seperti posisi dan kecepatan, yang diasumsikan mengikuti dinamika linear.
- **Prediksi dan koreksi:** Pada setiap langkah, KF memprediksi posisi masa depan berdasarkan dinamika gerak, kemudian memperbarui estimasi menggunakan data sensor aktual. Proses iteratif ini memungkinkan KF memberikan estimasi posisi yang stabil bahkan ketika data sensor mengandung noise.
- **Aplikasi real-time:** Karena efisiensinya, KF banyak digunakan dalam pelacakan objek real-time seperti kendaraan, robot, atau bahkan pejalan kaki.

Modifikasi untuk Gerakan Non-Linear (Drone dengan Gerakan Parabola)

Untuk kasus yang lebih kompleks, seperti pelacakan drone dengan dinamika non-linear, Kalman Filter dimodifikasi untuk menangani aspek-aspek khusus:

- **Dinamika gerak parabola:** Gerakan drone sering kali melibatkan posisi, kecepatan, percepatan, serta pengaruh gravitasi. Model gerakan non-linear ini memerlukan perhitungan lebih kompleks.
- **Penggunaan EKF atau UKF:** EKF atau UKF sering digunakan untuk menangani dinamika non-linear ini. Sebagai contoh, EKF dapat memperkirakan lintasan drone dengan mempertimbangkan gaya eksternal seperti angin, sementara UKF memberikan estimasi yang lebih akurat dalam lingkungan dengan gangguan besar.
- **Aplikasi penghindaran tabrakan dan optimasi lintasan:** Estimasi lintasan yang akurat sangat penting untuk aplikasi seperti navigasi otonom, di mana drone harus dapat menghindari hambatan, menjaga stabilitas, dan mencapai tujuan dengan efisiensi tinggi.

Perbandingan dan Pemilihan Filter

Pemilihan antara KF, EKF, dan UKF bergantung pada kompleksitas sistem dan kebutuhan aplikasi:

- **KF:** Pilihan ideal untuk sistem dengan dinamika linear dan noise Gaussian.
- **EKF:** Cocok untuk sistem non-linear sederhana, tetapi kinerjanya terbatas pada noise tinggi atau dinamika non-linear yang kompleks.
- **UKF:** Pilihan terbaik untuk sistem non-linear kompleks atau ketika diperlukan estimasi akurat dalam kondisi noise tinggi, meskipun dengan biaya komputasi yang lebih besar.

Kesimpulan

Baik EKF maupun UKF memainkan peran penting dalam integrasi data GPS dan IMU untuk navigasi robot, sementara KF klasik tetap relevan dalam pelacakan objek bergerak dengan dinamika linear. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan akurasi estimasi tetapi juga memungkinkan aplikasi real-time dalam berbagai skenario, mulai dari pelacakan kendaraan

hingga optimasi lintasan drone. Dengan memahami kelebihan dan keterbatasan masing-masing metode, filter yang sesuai dapat dipilih untuk memenuhi kebutuhan spesifik sistem.