リアルタイム低レイテンシIMUセンサーフュージョンアルゴリズムの設定

---

1. IMU weight config

IMUのデッドレコニング（推測航法）と、超音波（US）による位置補正との全体的なバランスを選択します。選択肢：Low（USによる補正が優位。出力はUSの位置によく追従し、収束は速いものの、出力のノイズは多くなります）、Medium（バランスの取れた既定値）、High（IMUのデッドレコニングが優位。出力は滑らかですが、補正は遅くなります）。プリセットを使わずに個々のバランスパラメーター（項目2、3、4）を手動で設定するには、User-definedを選択します。

2. Decay rate of drift toward zero, Hz

IMUによる軌跡と超音波の軌跡との間に蓄積した位置のずれを、ゼロへ戻すレート（1/s）です。値を大きくすると、出力はUSの位置へ速く収束します。値を小さくすると、IMUのデッドレコニングの影響が長く続き、出力は滑らかになりますが、補正は遅くなります。IMU weight configがUser-definedに設定されている場合のみ有効です。

3. Velocity blending weight

超音波の測位値（fix）が得られるたびに、IMUの積分で求めた速度を、連続する2つのUS位置から求めた速度へブレンドします。このパラメーターは、ブレンド比率の最大値を設定します。0.0ではIMUの速度をそのまま保ち、1.0ではUSから求めた値に完全に置き換えます。実際のブレンド量は、その測位値の信頼性によっても調整されます。IMU weight configがUser-definedに設定されている場合のみ有効です。

4. US jump alpha for outlier suppress

現在のIMUの位置と、新たに届いたUS測位値との位置の差のうち、その測位値を処理した時点で直ちに適用する割合です。1.0に近い値では、出力がUSの位置へすばやく合わせ込まれます。小さい値では、ドリフト減衰の仕組みにより、補正が時間をかけて分散されます。IMU weight configがUser-definedに設定されている場合のみ有効です。

5. Hedge mount offset, degrees

物理的なビーコンペアの軸（モバイルペアの2つのビーコンを結ぶ線）と、IMU本体のX軸との間の角度です。
ペアードビーコンによる継続的なヨー補正を実際の方位と一致させるには、正しく設定する必要があります。たとえば90°は、ペアの軸がIMUのY軸と一致することを意味します。

6. Extrapolate US position（有効/無効）

有効にすると、現在のIMUの速度を用いて、超音波の位置を、測距から適用までの処理遅延（約68 ms）の分だけ時間的に先へ進めます。これにより、高速移動中にUS測位値のたびに出力に現れる、系統的な後戻りのアーティファクトが解消されます。

7. Velocity overshoot fix（有効/無効）

有効時：IMUの積分で求めた速さが、同じ方向でUSから求めた速さの2倍を超える場合、速度を徐々にブレンドするのではなく、直ちにUSの値に合わせます。急減速の後に、トラッキング位置がビーコンの実際の位置を惰性で通り過ぎるのを防ぎます。

8. Velocity undershot fix（有効/無効）

有効時：USから求めた速さがIMUの速さの2倍を超える場合、リアルタイム低レイテンシIMUセンサーフュージョンは、IMUのデッドレコニングが遅れている（たとえば、高速旋回中にジャイロ角速度ゲートが加速度を抑制したため）と判断し、すばやく回復できるよう、速度を直ちにUSから求めた値に合わせます。

9. Drift velocity smooth rate

内部のドリフト補正速度の平滑化レート（1/s）です。この速度は、2次のドリフト減衰系の内側ループにあたります。値を大きくするとドリフト補正は各US測位値に鋭く反応し、小さくすると補正のインパルスはより緩やかに分散されます。一般的な範囲：10〜30 /s。

10. Velocity decay rate, Hz

有効な超音波の測位値をstaleしきい値より長く受信していないときに、IMUの速度に適用する指数減衰レート（1/s）です。速度を徐々にゼロへ近づけることで、USが長時間途絶えた際に位置が際限なくドリフトするのを防ぎます。

11. Ultrasound stale, sec

有効な超音波の測位値がこの秒数のあいだ届かない場合、IMUセンサーフュージョンはstaleモードに入ります。加速度の積分を停止し、速度をゼロへ向けて減衰させます。US測位値の通常の間隔に、想定される途切れを加えた時間より長く設定してください。

12. Minimum ultrasound quality, %

品質値がこのしきい値を下回る超音波の測位値は、すべて破棄されます。品質（0〜100%）は、信号強度と測定の一貫性に基づいてMarvelmindのハードウェアが報告します。しきい値を上げるとノイズは減りますが、条件の厳しい環境では、より多くの測位値が破棄されます。

13. US sigma for outlier suppress, m

新たに届いたUS測位値が、速度から予測した位置からこの距離だけ離れている場合、その補正の重みは0.5に下がります。さらに離れた測位値ほど、重みは次第に小さくなります。この値は、想定される最大のジャンプ距離ではなく、お使いの環境における超音波システムの一般的なノイズレベルに合わせて設定してください。一般的な値：低速移動では0.06〜0.10 m、高速移動では0.10〜0.15 m。

14. US min weight for outlier suppress

残差の大きさにかかわらず、すべてのUS測位値に適用する補正の重みの下限です。非常に疑わしい測位値でもわずかな補正には寄与させることで、大きな位置誤差の後に、IMUセンサーフュージョンがUSの軌跡を完全に無視してしまうのを防ぎます。

15. Use US trust weights（有効/無効）

信頼度回復の仕組みを有効にします。ある測位値が外れ値と判定されると、それ以降の測位値は、直前のUS位置ではなくIMUのデッドレコニングによる予測と比較されるため、誤った軌跡に乗った測位値が続いても、その不整合がはっきりわかります。USの軌跡への信頼度は、その後の外れ値でない測位値によって徐々に回復します。無効にすると、予測に基づく追加のブレンドを行わず、すべての測位値に外れ値抑制の重みをそのまま適用します。

16. US trust ref residual, m

信頼度の回復時間を計算するための基準ジャンプ距離です。ちょうどこの大きさの位置ジャンプが起きると、「US trust N base」個の連続した有効な測位値にわたる回復が始まります。ジャンプが大きいほど回復期間は長く（N maxに向けて）、小さいほど短く（N minに向けて）なります。

17. US trust N base

「US trust ref residual」と等しいジャンプの後に、信頼度を完全に回復するために必要な、連続した有効な測位値の基準数です。他の大きさのジャンプでは、この数が比例して調整され、N min〜N maxの範囲に制限されます。

18. US trust N min

外れ値がどれほど小さくても適用される、信頼度回復期間の最小値（測位値の数）です。ごく小さな乱れの後でも、信頼度が即座に回復してしまうのを防ぎます。

19. US trust N max

外れ値がどれほど大きくても適用される、信頼度回復期間の最大値（測位値の数）です。この数の測位値が経過すると、IMUセンサーフュージョンは現在のUSの軌跡を無条件に受け入れ、その位置を持続的な測定誤差ではなく、実際の移動として扱います。

20. US stuck N

強制収束を開始するために必要な、（信頼度がすでにゼロの状態での）連続した外れ値の測位値の数です。フュージョン後の位置が大きく乖離し、正しいUS測位値がすべて外れ値に見えてしまう場合に対処します。これは、放置すればいつまでも続く自己強化的なループです。

21. US stuck jump scale

強制収束が有効なときに、測位値ごとに適用する位置ジャンプの最小割合です。通常は（外れ値の重みが低いため）抑制されるジャンプを上書きし、ビーコンが移動するよりも速く乖離を埋めます。たとえば0.60は、測位値ごとに残りの位置誤差の60%を補正することを意味します。

22. US stuck weight floor

強制収束が有効なときに、ドリフト減衰レートに用いる実効重みの最小値です。強制的な大きな位置ジャンプに、ドリフト補正が遅れずに追従できるようにします。

23. Pos error for velocity damp, m

フュージョンの出力が最後の有効なUS測位値からこの距離より離れ、かつ速度がその測位値から遠ざかる方向を向いている（乖離している）場合に、緊急の速度減衰を適用します。これにより、IMUの積分誤差の蓄積によって位置が実際の位置からどんどん離れていく、暴走的なフィードバックループを断ち切ります。

24. Velocity damp max rate, Hz

位置誤差による緊急の速度減衰の最大レート（1/s）です。実際の減衰レートは、しきい値の距離（項目23）でのゼロから、この最大値まで直線的に増加します。値を大きくすると暴走的なドリフトを速く補正できますが、ビーコンが実際に最後の測位値から大きく移動した場合にも、速度が目に見えて低下することがあります。

25. Accel linear threshold, m/s²

ワールド座標系での線形加速度がこの値を超えると、ソフトな速度リミッターが積分速度を徐々に下げます。非常に大きな動的加速度によって重力の差し引きが信頼できなくなったときに、速度の暴走を防ぐためのものです。通常の歩行や走行に影響しないよう、十分に高く設定してください。

26. Use velocity accel gate（有効/無効）

有効にすると、各US測位値での速度補正を、現在の線形加速度に比例して弱めます。急加速中に、USから求めた速度（測位間隔にわたって位置を平均したもの）がIMUの速度を引き下げてしまうのを防ぐためのものです。現在はオフを推奨します。同じケースは、ジャイロ角速度ゲート（項目35〜37）がより正確に処理します。

27. Accel gate threshold (m/s²)

速度の加速度ゲートが速度補正の抑制を始める加速度レベルです。このレベルで補正の重みは半分になり、その2倍のレベルでゼロになります。「Use velocity accel gate」が有効な場合のみ関係します。

28. Snap min US speed (m/s)

オーバーシュート／アンダーシュートのスナップ処理（項目7〜8）が作動するために必要な、USから求めた速さの最小値です。連続する2つのUS測位値がほぼ同じ位置を示すと、求めた速さはほぼゼロになります。このしきい値がないと、IMUの速度がゼロでないだけでスナップ条件が誤って成立し、正しく推定された速さがゼロにされてしまいます。

29. KP: speed of tilt correction

Mahony姿勢フィルターの比例ゲインです。推定したピッチとロールを、加速度センサーで測定した重力方向へどれだけ速く補正するかを制御します。値を大きくすると傾きの変化に速く反応しますが、姿勢が振動や線形加速度の影響を受けやすくなります。

30. KI: gyro bias removal rate

Mahony姿勢フィルターの積分ゲインです。起動時のキャリブレーションで除去しきれなかった、ジャイロスコープのゼロレートオフセットの残りを、ゆっくり補正します。一般的な値はごく小さく（0.001〜0.01）、この項は数十秒かけて作用するため、大きく増やさないでください。

31. Yaw minimum displacement

ヨーの微調整補正を行う前に、連続する2つのUS測位値の間でビーコンが移動していなければならない最小距離（m）です。このしきい値未満では移動量が短すぎ、ノイズも大きいため、その方向を信頼できる方位の基準として使えません。

32. Maximum yaw correction, deg

1回のUS測位値に対して適用するヨー補正の上限値です。1回の測定で推定方位を変更できる量を制限し、ノイズの多い移動データによる方位の飛びを防ぎます。

33. Yaw error gain

計算した方位誤差（USの移動方向とIMUの速度方向の差）のうち、各測位値でヨー補正として適用する割合です。値を小さくすると方位補正がゆっくり積み重なり、動作が安定します。値を大きくすると、実際の方位誤差に速く反応します。

34. Yaw correction gain for pair

ペアードビーコンが提供する外部の方位基準に対する、継続的なヨー補正のレート（1/s）です。姿勢クォータニオンは、地磁気センサーによる補正と同様に、IMUの更新ステップごとにこの基準へ引き寄せられます。実効的な時定数は約1/ゲイン秒です。ペアードビーコンによる有効な方位信号が必要です。

35. Use gyro rate for accel gate（有効/無効）

ビーコンの回転が速すぎて姿勢フィルターが正確に追従できないときに、加速度の積分を抑制する機能を有効にします。角速度が高いと、重力の差し引きの誤差によってワールド座標系に大きな偽の線形加速度が生じ、デッドレコニングによる位置が乱れます。このゲートは、そうしたアーティファクトが速度と位置の積分に入り込むのを防ぎます。

36. Gyro rate for accel gate

加速度ゲートが完全積分から射影モードに切り替わる角速度のしきい値（rad/s）です。射影モードでは、現在の速度方向に沿った加速度成分のみを積分し、横方向の成分（回転中心からIMUが物理的にずれていることによる遠心力の影響で生じるもの）は破棄します。このしきい値未満では、完全積分を使用します。

37. Gyro rate for accel gate freeze

加速度の積分を完全に停止する角速度のしきい値（rad/s）です。設定36とこのしきい値の間では、射影モードを使用します。このしきい値を超えると、回転が遅くなるまで加速度の積分を一切行いません。これにより、回転中心からのIMUのずれによる遠心加速度が大きく、推定速度が数ミリ秒で反転してしまうような極端なケースを防ぎます。