实时低延迟IMU传感器融合算法设置

---

1. IMU weight config (IMU权重配置)

选择IMU航位推算与超声波位置修正之间的整体平衡。选项：Low（以超声波修正为主——输出紧跟超声波位置，收敛更快，但输出噪声更大）、Medium（平衡，默认值）、High（以IMU航位推算为主——输出平滑，但修正较慢）。选择 User-defined 可手动设置各项平衡参数（第2、3、4项），而不使用预设。

2. Decay rate of drift toward zero, Hz (漂移归零衰减率, Hz)

IMU轨迹与超声波轨迹之间累积的位置偏差被拉回零的速率（1/s）。数值越大，输出越快收敛到超声波位置；数值越小，IMU航位推算的影响持续越久，输出更平滑，但修正更慢。仅当 IMU weight config 设为 User-defined 时生效。

3. Velocity blending weight (速度融合权重)

每次获得超声波定位点时，IMU积分得到的速度会向由两个连续超声波位置推导出的速度融合。该参数设定最大融合比例：0.0 表示保持IMU速度不变；1.0 表示完全用超声波推导值替换。实际融合比例还会按该定位点的可靠性进行缩放。仅当 IMU weight config 设为 User-defined 时生效。

4. US jump alpha for outlier suppress (离群值抑制的超声波跳变系数)

处理新到达的超声波定位点时，当前IMU位置与该定位点之间的位置偏差中被立即修正的比例。数值越接近 1.0，输出越快跳到超声波位置；数值越小，修正越多地通过漂移衰减机制随时间分摊。仅当 IMU weight config 设为 User-defined 时生效。

5. Hedge mount offset, degrees (移动信标安装偏角, 度)

实际信标对轴线（连接移动配对信标中两个信标的直线）与IMU机体X轴之间的夹角。必须正确设置，配对信标提供的连续偏航修正才能与真实航向一致。例如，90° 表示信标对轴线与IMU的Y轴对齐。

6. Extrapolate US position（外推超声波位置，启用/禁用）

启用后，系统利用当前IMU速度，将超声波位置在时间上向前推移，推移量为从测距到应用之间的处理延迟（约68 ms）。这样可以消除高速运动时每个超声波定位点处都会出现的系统性"后退一步"伪影。

7. Velocity overshoot fix（速度过冲修正，启用/禁用）

启用后：如果在同一方向上IMU积分速度超过超声波推导速度的2倍以上，速度会立即直接设为超声波值，而不是逐步融合。可防止急减速后跟踪位置滑过信标的真实位置。

8. Velocity undershot fix（速度欠冲修正，启用/禁用）

启用后：如果超声波推导速度超过IMU速度的2倍以上，实时低延迟IMU传感器融合会认为IMU航位推算已经滞后（例如快速转弯时陀螺仪角速度门控抑制了加速度），并立即将速度直接设为超声波推导值，以便快速恢复。

9. Drift velocity smooth rate（漂移速度平滑率）

内部漂移修正速度的平滑率（1/s），即二阶漂移衰减系统的内环。数值越大，漂移修正对每个超声波定位点的响应越剧烈；数值越小，修正冲量分摊得越平缓。典型范围：10–30 /s。

10. Velocity decay rate, Hz（速度衰减率，Hz）

超过过期阈值仍未收到有效超声波定位点时，对IMU速度施加的指数衰减率（1/s）。通过使速度逐渐降为零，防止超声波长时间中断期间位置无限漂移。

11. Ultrasound stale, sec（超声波过期时间，秒）

如果在该秒数内没有收到有效的超声波定位点，IMU传感器融合将进入过期模式：停止加速度积分，速度向零衰减。该值应大于超声波定位点之间的典型间隔与预期中断时间之和。

12. Minimum ultrasound quality, %（超声波最低质量，%）

质量值低于该阈值的超声波定位点将被完全拒绝。质量值（0–100%）由 Marvelmind 硬件根据信号强度和测量一致性给出。提高该阈值可降低噪声，但在复杂环境中会丢弃更多定位点。

13. US sigma for outlier suppress, m（离群值抑制的超声波σ，米）

当新到达的超声波定位点与按速度预测的位置相距该距离时，其修正权重降至 0.5；距离更远的定位点权重逐步降低。应将该值设为与您环境中超声波系统的典型噪声水平相当，而不是可能出现的最大跳变距离。典型值：慢速运动 0.06–0.10 米，快速运动 0.10–0.15 米。

14. US min weight for outlier suppress（离群值抑制的超声波最小权重）

任何超声波定位点修正权重的下限，与其残差大小无关。确保即使非常可疑的定位点也能提供少量修正，防止IMU传感器融合在出现较大位置误差后完全忽略超声波轨迹。

15. Use US trust weights（使用超声波信任权重，启用/禁用）

启用信任恢复机制。某个定位点被标记为离群值后，后续定位点将与IMU航位推算的预测值比较，而不是与上一个超声波位置比较，从而使错误轨迹上的后续定位点明显不一致。对超声波轨迹的信任会在随后的非离群定位点中逐步恢复。禁用后，所有定位点仅按其原始离群值抑制权重应用，不再进行基于预测的额外融合。

16. US trust ref residual, m（超声波信任参考残差，米）

用于计算信任重建时间的参考跳变距离。恰好为该大小的位置跳变会触发持续"US trust N base"个连续有效定位点的信任重建。跳变越大，重建期按比例延长（趋向 N max）；跳变越小，重建期按比例缩短（趋向 N min）。

17. US trust N base（超声波信任基准点数）

跳变等于"US trust ref residual"时，恢复完全信任所需的连续有效定位点的基准数量。对于其他大小的跳变，该数量按比例缩放，然后限制在 N min / N max 范围内。

18. US trust N min（超声波信任最少点数）

信任重建的最短持续时间（以定位点数计），与离群值大小无关。防止即使在非常小的扰动之后信任也被立即恢复。

19. US trust N max（超声波信任最多点数）

信任重建的最长持续时间（以定位点数计），与离群值大小无关。经过该数量的定位点后，IMU传感器融合将无条件接受当前超声波轨迹，把该位置视为真实的位置变化，而不是持续存在的测量误差。

20. US stuck N（超声波卡滞判定点数）

触发强制收敛所需的连续离群定位点数量（此时信任度已为零）。用于处理融合位置偏离过远、导致每个真实超声波定位点看起来都像离群值的情况——否则这种自我强化的循环会无限持续下去。

21. US stuck jump scale（卡滞时跳变比例）

强制收敛生效时，每个定位点应用的最小位置跳变比例。它会覆盖通常被抑制（离群权重较低）的跳变，使偏离差距的缩小速度快于信标的移动速度。例如，0.60 表示每个定位点修正剩余位置误差的60%。

22. US stuck weight floor（卡滞时权重下限）

强制收敛生效时，漂移衰减率所用的最小有效权重。确保漂移修正跟得上更大的强制位置跳变。

23. Pos error for velocity damp, m（触发速度阻尼的位置误差，米）

当融合输出与上一个有效超声波定位点的距离超过该值，且速度方向背离该定位点（发散）时，将施加紧急速度阻尼。这样可以打破失控的反馈循环，避免累积的IMU积分误差把位置推得离真实位置越来越远。

24. Velocity damp max rate, Hz（速度阻尼最大速率，Hz）

位置误差紧急速度阻尼的最大速率（1/s）。实际阻尼率从阈值距离（第23项）处的零线性增加到该最大值。数值越大，失控漂移修正越快，但当信标确实远离上一个定位点移动时，也可能明显降低速度。

25. Accel linear threshold, m/s² (线加速度阈值，m/s²)

世界坐标系中的线加速度阈值，超过该值时，软速度限制器会逐步减小积分速度。用于在动态加速度很大、导致重力扣除不可靠时防止速度失控。该值应设得足够高，使正常步行或跑步不受影响。

26. Use velocity accel gate（使用速度加速度门控，启用/禁用）

启用后，每个超声波定位点处的速度修正会按当前线加速度成比例减小。用于防止在快速加速时，超声波推导速度（它是定位间隔内位置的平均）拉低IMU速度。目前建议关闭——陀螺仪角速度门控（第35–37项）能更准确地处理同类情况。

27. Accel gate threshold (m/s²)（加速度门控阈值）

速度加速度门控开始抑制速度修正时的加速度水平。在该水平下修正权重减半；在两倍于该水平时权重降为零。仅在启用"Use velocity accel gate"时有效。

28. Snap min US speed (m/s)（直接修正的最低超声波速度）

过冲和欠冲直接修正逻辑（第7-8项）生效所需的最低超声波推导速度。当两个连续超声波定位点显示的位置几乎相同时，推导速度接近零——如果没有该阈值，只要IMU速度不为零就会误触发直接修正条件，把正确建立的速度估计清零。

29. KP: speed of tilt correction（KP：倾斜修正速度）

Mahony 姿态滤波器的比例增益。控制估计的俯仰角和横滚角向加速度计测得的重力方向修正的快慢。数值越大，对倾斜变化的响应越快，但姿态对振动和线加速度也更敏感。

30. KI: gyro bias removal rate（KI：陀螺仪零偏消除速率）

Mahony 姿态滤波器的积分增益。缓慢修正启动校准时未消除的陀螺仪残余零速率偏移。典型值很小（0.001-0.01）——该项在几十秒的时间尺度上起作用，不应大幅调高。

31. Yaw minimum displacement（偏航修正最小位移）

尝试进行偏航微调修正之前，信标在两个连续超声波定位点之间必须移动的最小距离（米）。低于该阈值时，位移过短、噪声过大，其方向无法作为可靠的航向参考。

32. Maximum yaw correction, deg（最大偏航修正，度）

针对单个超声波定位点所施加偏航修正的硬上限。限制单次测量对估计航向的改变量，防止含噪声的位移数据引起航向跳变。

33. Yaw error gain（偏航误差增益）

计算出的航向误差（超声波位移方向与IMU速度方向之差）中，在每个定位点作为偏航修正应用的比例。数值越小，航向修正累积越慢，表现更稳定；数值越大，对真实航向误差的响应越快。

34. Yaw correction gain for pair (配对信标偏航修正增益)

针对配对信标提供的外部航向参考的连续偏航修正速率（1/s）。在每个IMU更新步骤中，姿态四元数都会被拉向该参考，类似于磁力计修正。有效时间常数约为 1/增益 秒。需要有效的配对信标航向信号。

35. Use gyro rate for accel gate (加速度门控使用陀螺仪角速度，启用/禁用)

当信标旋转过快、姿态滤波器无法准确跟踪时，抑制加速度积分。在高角速度下，重力扣除的误差会在世界坐标系中产生较大的虚假线加速度，破坏航位推算位置。该门控可防止这些伪影进入速度和位置积分。

36. Gyro rate for accel gate (加速度门控角速度阈值)

角速度阈值（rad/s），超过该值时加速度门控从完全积分切换到投影模式。在投影模式下，只对沿当前速度方向的加速度分量进行积分；横向分量（由IMU实际位置偏离旋转中心所产生的离心效应引起）将被舍弃。低于该阈值时采用完全积分。

37. Gyro rate for accel gate freeze (加速度积分冻结角速度阈值)

角速度阈值（rad/s），超过该值时完全冻结加速度积分。在第36项设置与该阈值之间使用投影模式。超过该阈值后，在旋转减慢之前完全不进行加速度积分。这可以防止一种极端情况：IMU偏离旋转中心处的离心加速度大到足以在几毫秒内使估计速度反向。