



基于单目视觉的MAVS协同定位

彭敏

2019年10月9日



上海交通大學

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

1

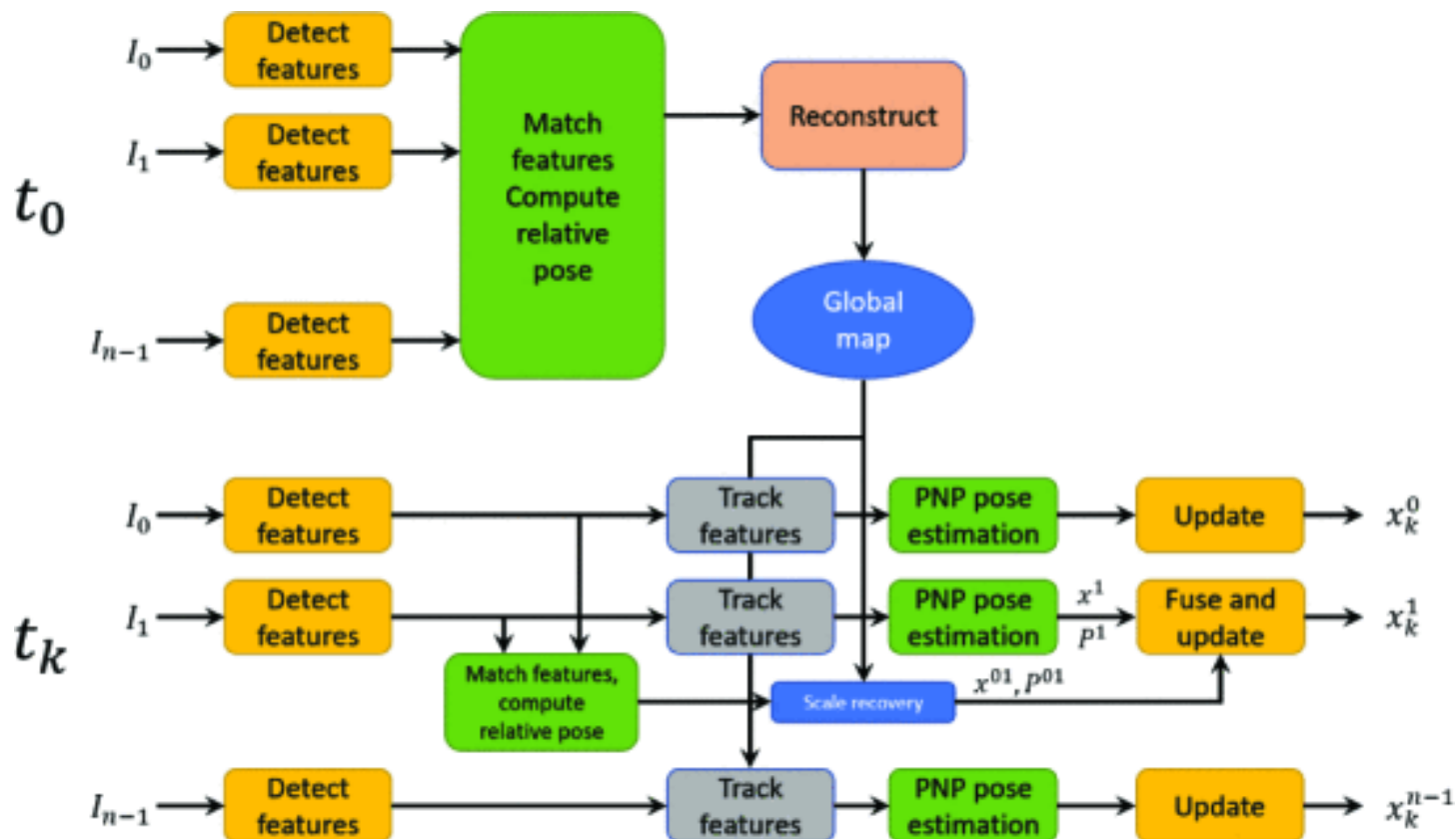
协同定位

2

混合高斯模型



思路



无人机数量: $m=1,2,3,\dots,N$

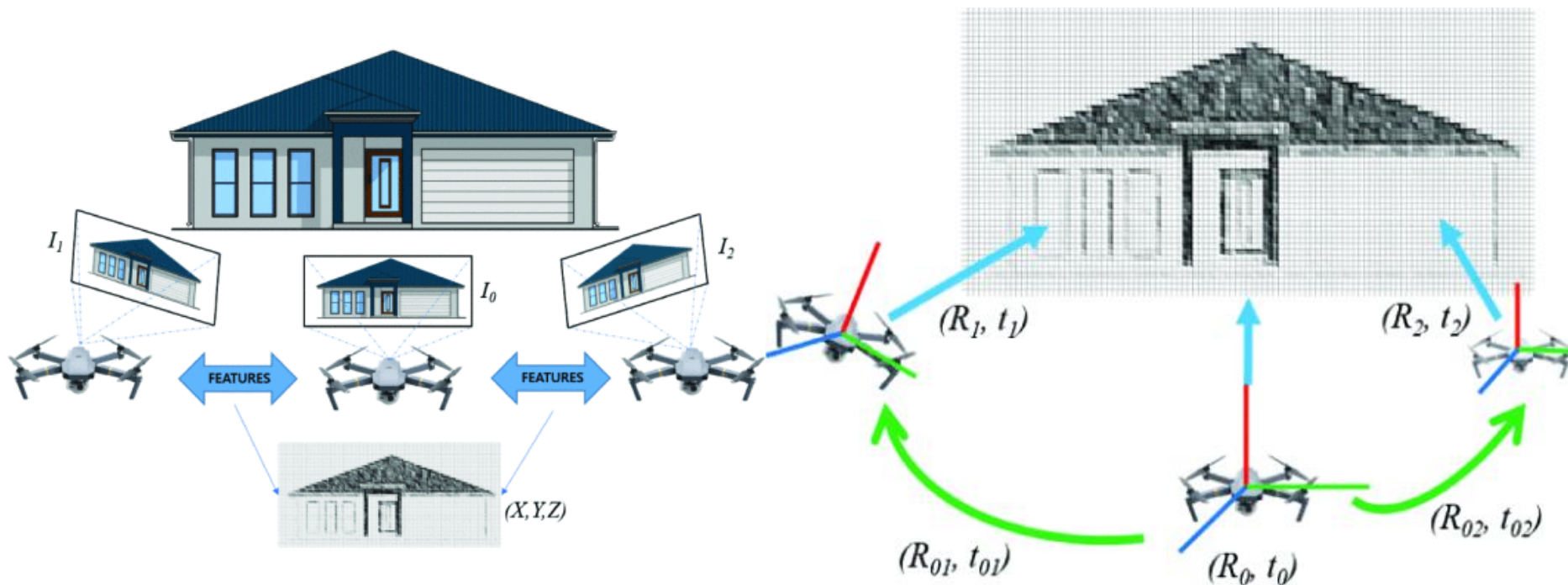
时间序列: $k=0,1,2, \dots$

前提条件



- MAV上的摄像头均已校准，并且内参矩阵是已知的
- 开始状态下，任意两无人机之间距离是已知的
- 无人机群之间通信没有延迟，并且能够获取相互之间的位姿和图像特征数据

特诊检测匹配与相对位姿获取



Accerlerated-KAZE特征

- 相对于SIFT/SURF更快
- 比ORB更准确

五点算法计算基本矩阵E

$$E = [t]_{\times} R$$

AC-RANSAC方法：
提高特征匹配准确度

Intra-MAV localization



Intra-MAV localization: 无人机单独获取的自身姿态

PNP算法: 获取MAV的位置与方向

$$m^* = \arg \min_m \sum_i \|x_i - P(X_i, m)\| \quad \text{误差度量}$$

P: 姿态为m时3D点 X_i 在相机二维图像上的对应点

X_i : 在当时时间序列下特征点的位置

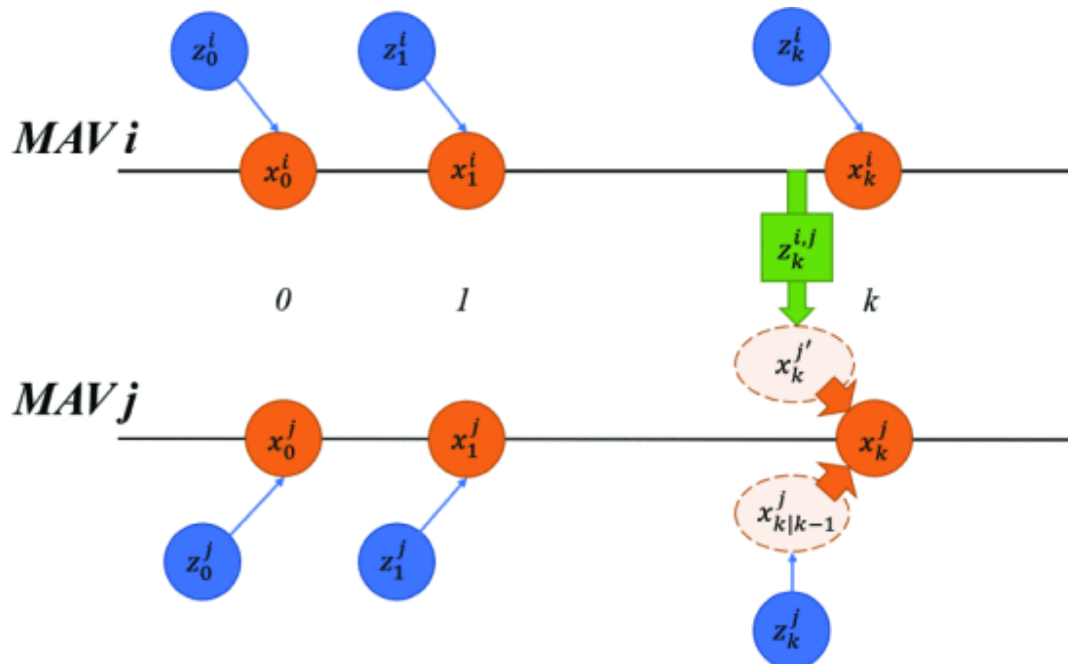
$$\begin{aligned} \mathbf{K}_k &= \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^\top (\mathbf{H}_k \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^\top + \mathbf{R}_k)^{-1} \\ \mathbf{x}_{k|k}^i &= \mathbf{x}_{k|k-1}^i + \mathbf{K}_k (\mathbf{z}_k - h(\mathbf{x}_{k|k-1}^i)) \\ \mathbf{P}_{k|k}^i &= (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_{k|k-1} \end{aligned}$$

卡尔曼滤波预测位姿
矫正MAV位姿与协方差

Inter-MAV localization



Inter-MAV localization: 无人机融合相对位姿信息进行定位



$$\mathbf{x}_k^{j'} = \mathbf{x}_{k|k-1}^j + \mathbf{M}_k^{i,j} \mathbf{z}_k^{i,j}$$

$$\mathbf{P}_k^{j'} = \mathbf{H}_k^{i,j} \mathbf{P}_{k|k-1}^{i,j} \mathbf{H}_k^{i,j\top} + \mathbf{M}_k^{i,j} \mathbf{R}_k^{i,j} \mathbf{M}_k^{i,j\top}$$

$$\mathbf{P}_{k|k}^j = \left[\omega (\mathbf{P}_{k|k-1}^j)^{-1} + (1 - \omega) (\mathbf{P}_k^{j'})^{-1} \right]$$

$$\mathbf{x}_{k|k}^j = \mathbf{P}_{k|k}^j \left[\omega (\mathbf{P}_{k|k-1}^j)^{-1} \mathbf{x}_{k|k-1}^j + (1 - \omega) (\mathbf{P}_k^{j'})^{-1} \mathbf{x}_k^{j'} \right]$$

ω : 使协方差矩阵迹最小的参数

总结



```

1: procedure LOCALIZEINTERMAV( $x_i, I_i, I_j$ )
2:    $p_i, p_j \leftarrow \text{detectFeatures}(I_i, I_j)$ 
3:    $\bar{p}_i, \bar{p}_j \leftarrow \text{matchFeatures}(p_i, p_j)$ 
4:    $E \leftarrow \text{ACRANSAC}(\bar{f}_1, \bar{f}_2, K_i, K_j)$ 
5:    $R, t \leftarrow \text{svd}(E)$ 
6:    $P_1, P_2 \leftarrow [I|0], [R|t]$ 
7:    $O' \leftarrow \text{reconstruct}(\bar{f}_1, \bar{f}_2, P_1, P_2)$ 
8:    $M_{\text{map}} \leftarrow \text{matchFeatures}(O', O)$ 
9:    $\triangleright O'$ : Local map,  $O$ := Global map
10:   $\lambda \leftarrow \text{recoverScale}(M_{\text{map}})$ 
11:   $[R, t] \leftarrow [R, t] * \lambda$ 
12:   $z_k^{i,j}, R_k^{i,j} \leftarrow \text{refinePose}(R, t, O)$ 
13:   $x_k^{j'}, P_k^{j'} \leftarrow \text{eqn}(8), (9)$ 
14:  return  $x_k^{j'}, P_k^{j'}$ 
15:
16: procedure LOCALIZEINTRAMAV( $I_k^j, K, O$ )
17:   $x_{k|k-1}^j, P_{k|k-1}^j \leftarrow \text{predictState}()$ 
18:   $k \leftarrow \text{detectFeatures}(I_k^j)$ 
19:   $\bar{p} \leftarrow \text{trackFeatures}(p_k, O)$ 
20:   $R, t \leftarrow \text{PNP}(\bar{p}, O, K)$ 
21:   $z_k^j, R_k^j \leftarrow \text{refinePose}(R, t, O)$ 
22:   $x_k^j, P_k^j \leftarrow \text{updateState}(z_k, R_k, x_{k|k-1}^j, P_{k|k-1}^j)$ 
23:   $\triangleright \text{eqn}(6), (7)$ 
24:  return  $x_k^j, P_k^j$ 
25:

```


1

协同定位

2

混合高斯模型



混合高斯模型



定义 9.2 (高斯混合模型) 高斯混合模型是指具有如下形式的概率分布模型:

$$P(y|\theta) = \sum_{k=1}^K \alpha_k \phi(y|\theta_k) \quad (9.24)$$

其中, α_k 是系数, $\alpha_k \geq 0$, $\sum_{k=1}^K \alpha_k = 1$; $\phi(y|\theta_k)$ 是高斯分布密度, $\theta_k = (\mu_k, \sigma_k^2)$,

$$\phi(y|\theta_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_k} \exp\left(-\frac{(y-\mu_k)^2}{2\sigma_k^2}\right) \quad (9.25)$$

称为第 k 个分模型.

混合高斯模型



混合高斯背景模型：认为像素之间的颜色信息互不相关，对各像素点的处理都是相互独立的。对于视频图像中的每一个像素点，其值在序列图像中的变化可看作是不断产生像素值的随机过程，即用高斯分布来描述每个像素点的颜色呈现规律

1. 每个新像素值 X_t 同当前 K 个模型按下式进行比较，直到找到匹配新像素值的分布模型，即同该模型的均值偏差在 2.5σ 内。

$$|X_t - \mu_{i,t-1}| \leq 2.5\sigma_{i,t-1}$$

2. 如果所匹配的模式符合背景要求，则该像素属于背景，否则属于前景。
3. 各模式权值按如下公式更新，其中 α 是学习速率，对于匹配的模式 $M_{k,t}=1$ ，否则 $M_{k,t}=0$ ，然后各模式的权重进行归一化。

$$w_{k,t} = (1 - \alpha) * w_{k,t-1} + \alpha * M_{k,t}$$

4. 未匹配模式的均值 μ 与标准差 σ 不变，匹配模式的参数按照如下公式更新：

$$\rho = \alpha * \eta(X_t | \mu_k, \sigma_k)$$

$$\mu_t = (1 - \rho) * \mu_{t-1} + \rho * X_t$$

混合高斯模型



$$\sigma_t^2 = (1 - \rho) * \sigma_{t-1}^2 + \rho * (X_t - \mu_t)^T (X_t - \mu_t) \leftarrow$$

5. 如果第 1 步中没有任何模式匹配，则权重最小的模式被替换，即该模式的均值为当前像素值，标准差为初始较大值，权重为较小值 \leftarrow
6. 各模式根据 w/α^2 按降序排列，权重大、标准差小的模式排列靠前 \leftarrow
7. 选前 B 个模式作为背景，B 满足下式，参数 T 表示背景所占比例 \leftarrow

$$B = \arg \left(\min \left(\sum_{k=1}^b w_k > T \right) \right) \leftarrow$$

混合高斯模型



谢谢！

