



间断网络连接下的 分布式状态估计

主讲人：王赵映

2019年9月25日



上海交通大学

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

1

背景

2

问题分解

3

编队

4

交流时序

5

路径规划及控制

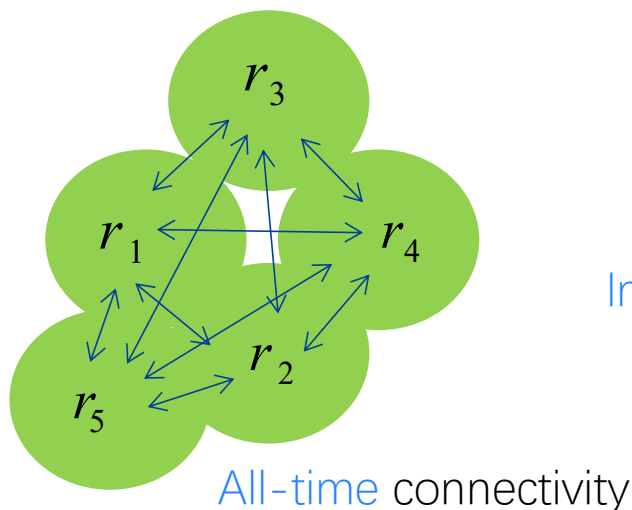


背景Background

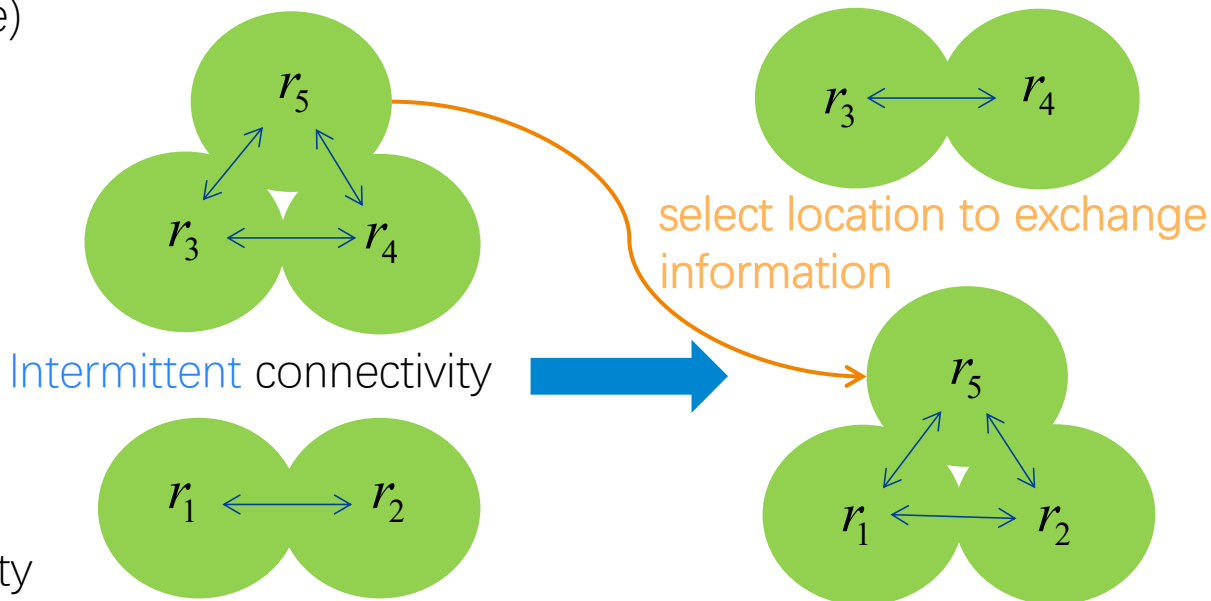


- 在机器人定位、协同SLAM、协同目标定位与跟踪应用中，机器人个体之间需要交换信息，来估计系统状态。（Multi-robot collaborative measurement）

之前的方法：所有机器人全时段组网，缺点是，由于通信和传感器限制，在**大尺度环境**中的探索过程低效。
(limited measurement range)



本文提出的方法：允许机器人临时与网络断开连接去更优地获得观测信息。并设计汇合地点保证信息交换和状态更新
(disconnect for optimal measurement)





问题分解

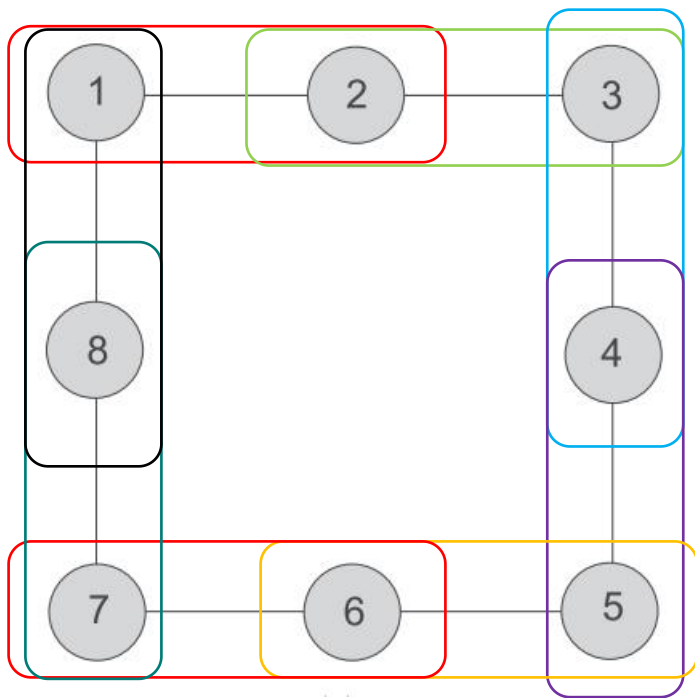


1. 分布式机器人如何编队 distributed robots formation
2. 编队后，如何设计交流机制 mechanism of information exchange
3. 为了交换信息，如何设计路径规划 informative path planning

如何编队



每个机器人 r_{ij} 编入2个组 T_i 和 T_j



$$T_1 = \{ r_{12}, r_{18} \} \quad T_5 = \{ r_{45}, r_{56} \}$$

$$T_2 = \{ r_{12}, r_{23} \} \quad T_6 = \{ r_{56}, r_{67} \}$$

$$T_3 = \{ r_{23}, r_{34} \} \quad T_7 = \{ r_{67}, r_{78} \}$$

$$T_4 = \{ r_{34}, r_{45} \} \quad T_8 = \{ r_{78}, r_{18} \}$$

交流时序表



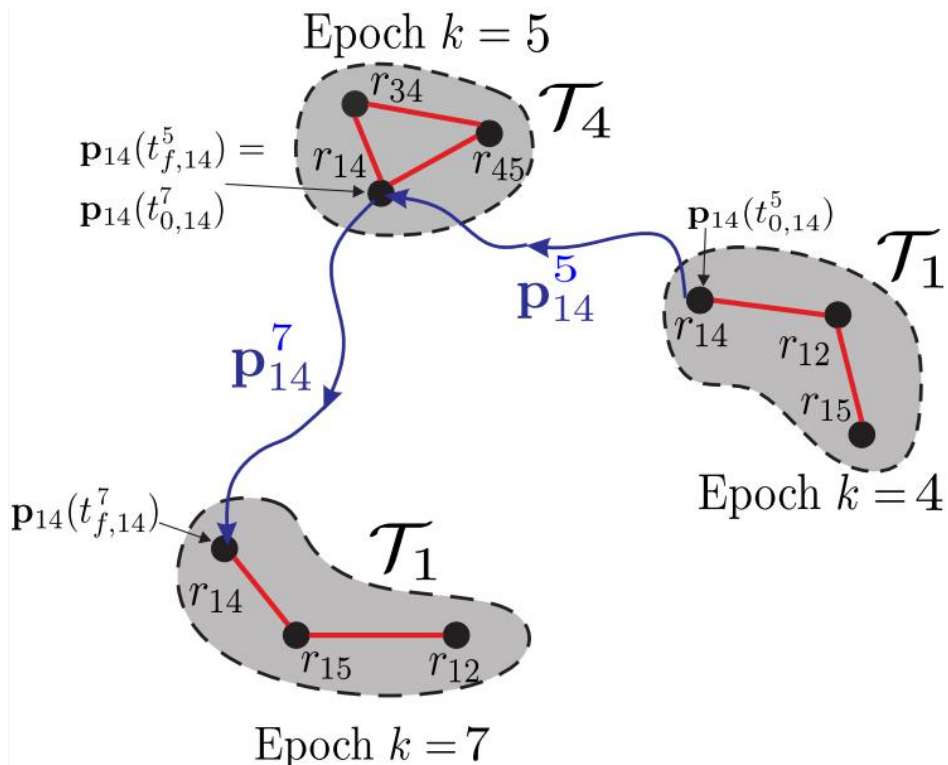
对于每一个机器人 r_{ij} 都有一个交流时刻表 $sched_{ij}$ ，简称 s_{ij}

$$s_{ij} = X, \dots, X, i, X, \dots, X, j, X, \dots, X$$

上式表示机器人 r_{ij} 的一个时序， i 和 j 分别表示在该时刻需要去 T_i 和 T_j 队伍中的交流事件， X 表示没有交流任务，机器人处于空闲状态。整个时序表是以周期 T 重复循环的。

$$sched_{ij} = [i, j, X]^{\omega} \quad \begin{matrix} \{1 + nT\}_{n=0}^{\infty} & \{2 + nT\}_{n=0}^{\infty} & \{3 + nT\}_{n=0}^{\infty} \\ i & j & X \end{matrix}$$

基于信息交流的路径规划



周期 $T=3$, \mathcal{T}_1 到 \mathcal{T}_4 用了1份时间,
 \mathcal{T}_4 回到 \mathcal{T}_1 用了2份时间。

约束优化问题



问题是如何设计path segments \mathbf{p}_{ij}^k
获得更好测量，减少估计不确定度，还要满足如下约束：

$$\min_{\mathbf{P}_{\mathcal{T}_i}, t_{f, \mathcal{T}_i}} \sum_{t=t_{0, \mathcal{T}_i}}^{t_{f, \mathcal{T}_i}} \text{unc}(\mathbf{P}_{\mathcal{T}_i}(t))$$

$$\text{s.t. } \mathbf{p}_{ij}(t_{0, ij}^{k+T}) = \mathbf{p}_{ij}(t_{f, \mathcal{T}_i}^k) \forall r_{ij} \in \mathcal{T}_i$$

$$\mathbf{p}_{ij}(t) \in \Omega_{\text{free}} \forall r_{ij} \in \mathcal{T}_i$$

$$\mathbf{p}_{ij}(t+1) = \mathbf{g}(\mathbf{p}_{ij}(t), \mathbf{u}_{ij}(t)) \forall r_{ij} \in \mathcal{T}_i$$

$$\mathcal{G}_{\mathcal{T}_i}^{k+T} \in \mathcal{C}$$

$$t_{f, \mathcal{T}_i} \geq t_{0, ij}^{k+T} \forall r_{ij} \in \mathcal{T}_i$$

$$t_{f, ij} = t_{f, \mathcal{T}_i} \forall r_{ij} \in \mathcal{T}_i$$

$$\text{unc}(\mathbf{P}_{\mathcal{T}_i}(t_{f, \mathcal{T}_i})) \leq \delta.$$

目标：表示一个队伍中所有机器人路径集和，代表了队伍从上一汇合时刻到此时刻累计的状态不确定程度。

约束1：起点是上一次汇合的点

约束2：路径在空间上连续

约束3：符合动力学模型

约束4：每个机器人路径终点足够接近可以组网

约束5：终点时间大于起点时间

约束6：所有机器人同时到达终点，无等待

约束7：终点的状态不确定程度要小于某个阈值

集成控制框架



Algorithm 5: Integrated Control Framework for Robot r_{ij} .

Require: Initial paths $\mathbf{p}_{ij}^{\text{init}}$ and the plan sched_{ij} ;

1: **for** $k = 1 : \infty$ **do**

2: Move along the path \mathbf{p}_{ij}^k and collect measurements every Δt ;

3: When the final waypoint of \mathbf{p}_{ij}^k is reached, exchange information with all other robots $r_{ij} \in \mathcal{T}_i$;

4: Update the state estimate and the covariance matrix up to the current time t (Algorithm 4);

Extended KF

5: Design the paths \mathbf{p}_{ij}^{k+T} to be followed to reach the next meeting event (Algorithm 1);

RRT* (next slide)

6: **end for**

路径规划RRT*



Algorithm 1: Sampling-based Informative Path Planning.

- 1: Set $\mathcal{V}_s = \{\mathbf{v}_0\}$, $\mathcal{E}_s = \emptyset$, and $\mathcal{X}_g = \emptyset$;
 - 2: **for** $s = 1, \dots, n_{\text{sample}}$ **do**
 - 3: Sample Ω_{free} to acquire \mathbf{v}_{rand} ;
 - 4: Find the nearest node $\mathbf{v}_{\text{nearest}} \in \mathcal{V}_s$ to \mathbf{v}_{rand} ;
 - 5: Steer from $\mathbf{v}_{\text{nearest}}$ toward \mathbf{v}_{rand} to select \mathbf{v}_{new} ;
 - 6: **if** CollisionFree($\mathbf{v}_{\text{nearest}}, \mathbf{v}_{\text{new}}$) **then**
 - 7: Update the set of vertices $\mathcal{V}_s = \mathcal{V}_s \cup \{\mathbf{v}_{\text{new}}\}$;
 - 8: Build the set $\mathcal{V}_{\text{near}} = \{\mathbf{v} \in \mathcal{V}_s \mid \|\mathbf{v} - \mathbf{v}_{\text{new}}\| < r\}$;
 - 9: Extend the tree towards \mathbf{v}_{new} (Algorithm 2);
 - 10: Rewire the tree (Algorithm 3);
 - 11: **end if**
 - 12: **end for**
 - 13: Find $\mathbf{v}_{\text{end}} \in \mathcal{X}_g^i$ with smallest uncertainty;
 - 14: Return the path $\mathbf{P}_{\mathcal{T}_i}^{k+T} = (\mathbf{v}_0, \dots, \mathbf{v}_{\text{end}})$;
 - 15: Project $\mathbf{P}_{\mathcal{T}_i}^{k+T}$ onto the workspace of r_{ij} to get \mathbf{p}_{ij}^{k+T} ;
-

谢谢！

