

T 团 体 标 准

T/TMAC ×××—2024

无线移动自组织无人机飞联网路由协议 要求

The routing protocols of wireless mobile UAV Ad Hoc network——requirements

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国技术市场协会 发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转移转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人均可提出制修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本文件著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本文件开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市丰台区万丰路 68 号银座和谐广场 1101B。

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn 电子信箱：136162004@qq.com

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 2

5 网络构成 3

 5.1 无人机飞联网的构成 3

 5.2 空地联合自组织网络的构成 3

6 路由协议的核心技术要求 3

 6.1 路由协议的整体流程 3

 6.2 “Hello”信息格式 3

 6.3 数据包格式 3

 6.4 邻居节点的位置预测 4

 6.5 中继节点的选择算法 4

 6.6 路由空洞的分类和处理技术 5

参考文献 6

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由北京邮电大学提出。

本文件由中国技术市场协会归口。

本文件起草单位：北京邮电大学、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX。

引 言

为贯彻落实党中央、国务院以信息化推进国家治理体系和治理能力现代化，以信息化培育新动能，加强信息基础设施建设等决策部署，提高信息技术服务供给质量，促进无线通信行业高质量发展，加快发展现代产业体系，推动经济体系优化升级，更好地规范和指导信息化工程和技术服务领域产业链现代化水平，通过加强标准能力建设，完善产业的质量体系，特提出此标准。

本文件提出了无线移动自组织无人机飞联网的构成与核心路由协议的技术要求，用于提高无人机飞联网路由协议的性能质量。

本文件主要应用场景包括以下几个方面：

- a) 由无人机组成的移动自组织网络，即无人机飞联网。
- b) 由无人机与地面节点联合组成的移动自组织网络，即空地联合自组织网络。

无线移动自组织无人机飞联网 路由协议要求

1 范围

本文件规定了无线移动自组织无人机飞联网的构成与核心路由协议的技术要求。

本文件适用于无人机飞联网与空地联合自组织网络的网络体系,其他自组织网络可参照本要求。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 25068.1—2020 信息技术 安全技术 网络安全

GB/T 40211—2021 工业通信网络 网络和系统安全 术语、概念和模型

GJB5433—2005 无人机系统通用要求

GJB5200 无人机遥控系统通用规范

GJB5201 无人机飞行控制与管理系统通用规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

飞联网 Flight Ad Hoc Network

一种基于无人机与环境协同的可控、可管、可运营、可信的开放融合网络系统。通过装载在无人机上的传感器、终端及电子标签提供无人机信息,采用自组织网络通信技术实现无人机与无人机、无人机与地面基站互连互通,并在信息网络平台上对信息进行提取、共享等有效利用,对无人机进行有效的管控和提供综合服务。

3.2

对象协同模型 Object Cooperative-working Model

对象或对象群体之间的协同关系,以及相互分离和组合形成的不同模型特征,分为群体模型和个体模型。

3.3

群体模型 Team Model

以无人机簇的群体为视角,解决无人机簇与地面基站如何实现统一集群通信的问题。

注:群体模型是宏观模型。

3.4

个体模型 Single Model

以单一的无人机节点为视角,解决无人机与无人机或无人机与地面基站的通信问题。

注:个体模型是微观模型。

3.5

核心路由协议 Core Routing Protocol

涉及的关键核心技术，包含无人机节点的位置预测技术、无人机中继节点与路由路径的选择技术、路由空洞的分类和处理技术等。

3.6

一跳邻居节点 One-hop Neighbor Node

节点的一跳通信范围内的邻居节点，节点与一跳邻居节点应可互相通信。

3.7

两跳邻居节点 Two-hop Neighbor Node

节点的一跳通信范围之外、但是在其一跳邻居节点的通信范围内的邻居节点，节点与两跳邻居节点应可通过一跳邻居节点互相通信。

3.8

路由空洞 Routing Void

节点在传输数据包的过程中，发现没有比自己距离目的节点更近的一跳邻居节点时的情况。

3.9

“Hello” 信息 Hello Message

包含了节点的速度、位置与时间等信息，它被节点周期性地广播，用于获取并保存邻居节点的具体信息。

3.10

数据包 Data Packet

包含了源节点、下一跳节点以及目的节点的ID和位置信息，同时携带了需要传递的数据，用于完成路由。

3.11

贪婪模式 Greedy Mode

无人机节点在非路由空洞的情况下应选择距离目的节点最近的一跳邻居节点来转发数据包的模式。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

GPS：全球定位系统(Global Positioning System)

5 网络构成

5.1 无人机飞联网的构成

无人机飞联网的构成应包括：

- a) 由多个单无人机节点组成，节点之间应互相传递信息；
- b) 由多个无人机簇组成，簇内节点应行为统一且可互相通信，簇间通信应由簇内的簇首节点完成，其他节点不可跨簇通信；
- c) 由多个单无人机节点与多个无人机簇群混合组成，单个无人机节点之间应互相通信，单个无人机节点与簇内节点通信应通过簇首节点完成。

5.2 空地联合自组织网络的构成

空地联合自组织网络的构成应包括：

- a) 由多个单无人机节点与地面基站组成，基站应固定不动，节点之间以及节点与基站之间应互相传递信息；
- b) 由多个无人机簇与地面基站组成，簇间通信应由簇内的簇首节点完成，簇内节点与基站通信也应由簇首节点完成；
- c) 由单无人机节点、无人机簇群以及地面基站混合组成，单个无人机节点之间以及节点与基站之间应互相通信，单个无人机节点与簇内节点通信应通过簇首节点完成，基站与簇内节点通信也应通过簇首节点完成。

6 路由协议的核心技术要求

6.1 路由协议的整体流程

无人机飞联网的路由协议应分为以下三个步骤：

- a) 无人机节点应周期性地广播 Hello 信息，每一个节点在接收到来自一跳邻居节点的 Hello 信息时应保存 Hello 信息中的邻居节点的信息；
- b) 当无人机节点有数据包要发送给目的节点且它处于贪婪模式时，它应根据已保存的 Hello 信息来预测邻居节点的位置，然后使用中继节点的选择算法来传递数据包；
- c) 当无人机节点有数据包要发送给目的节点且它处于路由空洞的情况时，它应根据路由空洞的处理技术来传递数据包。

6.2 “Hello”信息格式

无人机飞联网中的节点均配备 GPS 系统，应在 Hello 信息中写入自己的信息与上一个周期保存的一跳邻居节点的信息，其中包含了节点自身与一跳邻居节点的 ID、位置、速度、加速度与广播时刻。“Hello”信息格式如表 1 所示。

表 1 “Hello”信息

节点 ID	位置	速度	加速度	广播时刻
节点自身 S	P	V	a	T
一跳邻居节点集合[1,n]	P[1,n]	V[1,n]	a[1,n]	Ti

6.3 数据包格式

当源节点要向目的节点传递信息时，应把信息写入数据包中，并在数据包头部写入目的

节点的 ID 与下一跳节点的 ID。数据包格式如表 2 所示。

表 2 数据包

目的节点 ID	下一跳节点 ID	待传递信息
Dest	Next	Mess

6.4 邻居节点的位置预测

无人机节点应根据已保存的 Hello 信息对一跳邻居节点和两跳邻居节点的位置进行预测，如公式（1）。

$$\begin{cases} P_{pred} = P + V * (T_{now} - T) + \frac{1}{2}a * (T_{now} - T)^2 \\ P_{[1,n]pred} = P_{[1,n]} + V_{[1,n]} * (T_{now} - T) + \frac{1}{2}a_{[1,n]} * (T_{now} - T_i)^2 \end{cases} \dots\dots\dots(1)$$

式中：

P_{pred} ——一跳邻居节点的预测位置；

$P_{[1,n]pred}$ ——两跳邻居节点的预测位置；

P ——一跳邻居节点在广播时刻的位置；

$P_{[1,n]}$ ——两跳邻居节点在广播时刻的位置；

V ——一跳邻居节点的速度；

$V_{[1,n]}$ ——两跳邻居节点的速度；

a ——一跳邻居节点的加速度；

$a_{[1,n]}$ ——两跳邻居节点的加速度；

T ——一跳邻居节点的广播时刻；

T_i ——两跳邻居节点的广播时刻；

T_{now} ——传递数据包的时刻。

6.5 中继节点的选择算法

6.5.1 多因素结合的选择算法

在贪婪模式下，当节点与目的节点的距离过大时，无人机节点应根据多因素结合的选择算法在一跳邻居节点中选择合适的中继节点来传递数据包，直至数据包到达目的节点，该算法如公式（2）。

$$\eta = -\alpha * \frac{d_{n-d}}{D} + \beta * \frac{\Delta T}{\Delta T + 1} + \gamma * e^{-\frac{1}{m}} \dots\dots\dots(2)$$

式中：

d_{n-d} ——一跳邻居节点到目的节点的距离；

D ——源节点到目的节点的距离；

α —— d_{n-d} 的权重；

ΔT ——链路的稳定性；

β —— ΔT 的权重；

m ——两跳邻居节点的密度；

γ —— m 的权重。

6.5.2 中继节点的选择结果

根据公式（2），每一个一跳邻居节点均可由计算得到一个 η 值，无人机节点应在所有的一跳邻居节点中选择拥有最大的 η 值的那一个作为中继节点，并将它的ID作为下一跳节点的ID写入数据包的头部。

6.6 路由空洞的分类和处理技术

6.6.1 分类

在路由空洞情况中，无人机节点应将该情况细化为三类，分别是半路由空洞、全路由空洞以及无邻居节点，然后对三类情况分别处理。

6.6.2 半路由空洞

当有两跳邻居节点距离目的节点更近且其在无人机节点的传输范围内时，无人机节点遭遇的是半路由空洞。此时它应在所有距离目的节点更近的两跳邻居节点中选择距离目的节点最近的那一个作为中继节点，然后向中继节点直接传递数据包。

6.6.3 全路由空洞

当有两跳邻居节点距离目的节点更近但是其在无人机节点的传输范围外时，无人机节点遭遇的是全路由空洞。此时它应在所有两跳邻居节点中选择出距离目的节点最近的那一个，然后通过与该两跳邻居节点相连的一跳邻居节点完成数据包的中继，将数据包传递给该两跳邻居节点。

6.6.4 无邻居节点

当无两跳邻居节点时，无人机节点应携带数据包进入等待阶段，直到下一次广播Hello信息时获取到新的邻居节点信息。

参 考 文 献

- [1] GJB5201 无人机飞行控制与管理系统通用规范
 - [2] GJB5433-2005 无人机系统通用要求
 - [3] GB/T 25068.1-2020 信息技术 安全技术 网络安全
 - [4] GB 40050-2021 网络关键设备安全通用要求
 - [5] GB/T 40211-2021 工业通信网络 网络和系统安全 术语、概念和模型
 - [6] L. Gupta, R. Jain and G. Vaszkun, "Survey of Important Issues in UAV Communication Networks," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 2, pp. 1123-1152, Secondquarter 2016.
 - [7] İ. Bekmezci, O. K. Sahingoz, S. Temel, "Flying ad-hoc networks (FANETs): a survey", Ad Hoc Networks, vol. 11, pp. 1254-1270, May 2013.
 - [8] Jean-Daniel Biomo, Medjo Me et al., "Directional Antennas in FANETs: A Performance Analysis of Routing Protocols", 2017 International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking (MoWNeT), 2017.
 - [9] L. Lin, Q. Sun, S. Wang and F. Yang, "A geographic mobility prediction routing protocol for Ad Hoc UAV Network," 2012 IEEE Globecom Workshops, Anaheim, CA, 2012, pp. 1597-1602.
 - [10] M. Aissani, A. Mellouk, N. Badache and M. Djebbar, "A New Approach of Announcement and Avoiding Routing Voids in Wireless Sensor Networks," IEEE GLOBECOM 2008 - 2008 IEEE Global Telecommunications Conference, New Orleans, LO, 2008, pp. 1-5.
-