

ICS 33 060 30

C3921

T/GXDSL

团体标准

T/GXDSL 016—2025

无人机集群通信稳定性技术要求与测试方法

Technical Requirements and Test Methods for Communication Stability of
Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Clusters

2025 - 3 - 25 发布

2025 - 3 - 27 实施

广西电子商务企业联合会 发布

目 次

前 言 II

一、范围 1

二、规范性引用文件 2

三、术语和定义 3

 1. 无人机集群通信稳定性 3

 2. 通信链路丢包率 3

 3. 通信链路延迟 3

 4. 通信链路带宽 4

四、技术要求 4

 1. 通信链路性能要求 4

 2. 抗干扰能力要求 4

 3. 网络拓扑适应性要求 5

 4. 能量管理要求 5

五、测试方法 5

 1. 测试环境 5

 2. 通信链路性能测试 6

 3. 抗干扰能力测试 6

 4. 网络拓扑适应性测试 6

 5. 能量管理测试 6

六、测试报告 7

七、附则 7

前 言

本文件依据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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广西产学研科学研究院提出。

本文件由广西电子商务企业联合会归口。

本文件起草单位：广西研科院高新技术有限公司，广西产学研科学研究院，清华大学零一学院，西安交通大学，广西蓝脑科技有限公司，山东大学(乐陵)人工智能研究院，广西立新科技产业有限公司，西安蓝脑科技有限公司，成都锦城学院，四川低空智控科技有限公司，西北工业大学，西北农林科技大学，海南大学，重庆大学，西安欧亚学院，西北大学，西那瓦国际大学(泰国)，西安理工大学，上海信昊信息科技有限公司，上海工程技术大学，广西自贸区蓝脑科技合伙企业(有限合伙)，上海蓝脑企业管理合伙企业(有限合伙)，新疆蓝脑科技有限公司，蓝脑人工智能科技(德州)有限公司，智链云(山东)人工智能科技有限公司，桂林电子科技大学。

本文件主要起草人：庄文斌，韦新，陈世卿，王建，李征骥，李三雁，张志敏，王博知，李鹏，张慧卿，钟世强，韦博鲲，段玉聪，王钊锦，宋永端，杨猛，赵闪光，郑小伟，李学平，龚才春，赵国帅，周建伟，袁红，李高健，罗迪，陈虎虎，吕波，于波。

本文件为首次发布。

无人机集群通信稳定性技术要求与测试方法

一、范围

本标准规定了无人机集群通信稳定性的技术要求、测试方法、测试环境及测试报告等内容。本标准适用于无人机集群通信系统的研发、生产和测试，旨在确保无人机集群在复杂环境下的通信稳定性，提高集群任务执行的可靠性和安全性。

具体而言，本标准适用于以下场景和要求：

1. 技术要求：

- 明确无人机集群通信系统的技术指标，包括通信频段、通信协议、数据传输速率等，确保通信系统的高性能和可靠性。
- 规定无人机集群的感知技术要求，如传感器类型、感知精度等，以实现对环境的高精度感知。
- 规范决策技术，支持深度学习、强化学习等人工智能算法，确保快速、准确的决策。
- 规定控制技术，包括控制精度和控制稳定性，确保无人机在复杂环境下的稳定飞行。

2. 测试方法：

- 包括性能测试，如通信性能、感知精度、决策速度等，确保各项技术指标符合要求。
- 安全测试，包括飞行安全和操作安全，确保系统在复杂环境下的安全性。

3. 测试环境：

- 测试场地应具备开阔的空间，避免高楼大厦、树木等障碍物对飞行测试的影响。
- 地面条件要求平坦，以减少风对飞行测试结果的影响。

4. 测试报告：

- 测试报告应包括测试目的、测试条件、测试结果、评估结论等内容。
- 测试报告应由测试人员签名，并加盖测试机构公章。

本标准适用于以下具体应用场景：

- **物流配送：**在偏远或交通不便地区，无人机集群可以通过高效的机间通信技术实现快速、灵活的货物投送。
- **灾难救援：**在地震、洪水等自然灾害发生时，无人机集群可以通过机间通信技术快速评估灾情并辅助救援工作。
- **环境监测与保护：**无人机集群可用于空气质量、水质监测等环境监测任务。
- **智慧城市：**无人机集群可用于城市巡检、交通监管等任务，为城市管理提供智能化支持。

二、规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 26249.1-2010 无人机系统 第1部分：通用要求**

该标准规定了无人机系统的通用要求，包括系统组成、性能要求、安全要求等，为无人机系统的研发和生产提供了基本的指导。

- **GB/T 26249.2-2010 无人机系统 第2部分：分类与分级**

该标准对无人机系统进行了分类与分级，明确了不同类型和级别无人机的技术要求和应用场景。

- **GB/T 38125-2019 无人机系统电磁兼容性要求及测试方法**

该标准规定了无人机系统的电磁兼容性要求及测试方法，确保无人机在复杂电磁环境下的稳定运行。

- **GB/T 44717-2024 民用无人机可靠性飞行试验要求与方法**

该标准规定了民用无人机可靠性飞行试验的要求、试验方法以及试验数据采集与处理，适用于民用无人机可靠性飞行试验。

- **GB/T 35018 民用无人驾驶航空器系统分类及分级**

该标准对民用无人驾驶航空器系统进行了分类和分级，为无人机系统的管理和应用提供了依据。

- **GB/T 38152 无人驾驶航空器系统术语**

该标准定义了无人驾驶航空器系统相关的术语和定义,确保在技术交流和标准制定中使用统一的术语。

- **HB 8591-2020 民用轻小型固定翼无人机系统通用要求**

该行业标准规定了民用轻小型固定翼无人机系统的性能、通用质量特性和验证等通用要求,适用于最大起飞重量不超过 150kg 的固定翼无人机系统。

- **GB/T 4087 数据的统计处理和解释 二项分布可靠度单侧置信下限**

该标准提供了数据统计处理和解释的方法,适用于无人机可靠性试验中的数据处理。

三、术语和定义

1. 无人机集群通信稳定性

指无人机集群在执行任务过程中,通信链路能够持续、可靠地传输数据,不受外界干扰、无人机自身运动及环境变化等因素影响的能力。

2. 通信链路丢包率

指在一定时间内,通信链路中丢失数据包的数量与总传输数据包数量的比率,单位为百分比(%)。

3. 通信链路延迟

指数据从发送端传输到接收端所需的时间,单位为毫秒(ms)。

4. 通信链路带宽

指通信链路能够传输的最大数据量，单位为比特每秒（bps）。

四、技术要求

1. 通信链路性能要求

- **丢包率：**在正常工作环境下，通信链路丢包率应不大于 1%，丢包率是指在通信过程中丢失的数据包占总发送数据包的比例，是衡量通信链路可靠性的重要指标。

- **延迟：**通信链路延迟应不大于 100ms，延迟是指数据从发送端到接收端所需的时间，是衡量通信链路实时性的重要指标。

- **带宽：**通信链路带宽应满足无人机集群任务需求，最低不少于 1Mbps，带宽是指通信链路在单位时间内能够传输的数据量，是衡量通信链路容量的重要指标。

2. 抗干扰能力要求

- **电磁干扰：**无人机集群通信系统应具备抗电磁干扰能力，在电磁干扰环境下，通信链路丢包率增加不应超过 2%，延迟增加不应超过 20ms，电磁干扰是指外部电磁信号对通信链路的干扰，可能导致通信链路性能下降。

- **环境干扰：**在复杂环境中（如多径干扰、遮挡等），通信链路丢包率增加不应超过 3%，延迟增加不应超过 30ms，环境干扰是指由于地形、建筑物等环境因素对通信链路的干扰，可能导致通信链路性能下降。

3. 网络拓扑适应性要求

- **动态拓扑:** 无人机集群通信系统应能够适应动态拓扑变化,在无人机数量增减、位置变化等情况下,通信链路应在 1 秒内恢复正常,动态拓扑是指无人机集群在飞行过程中,由于任务需求或环境变化,无人机的数量和位置可能发生变化。

- **拓扑稳定性:** 在动态拓扑变化过程中,通信链路丢包率增加不应超过 2%,延迟增加不应超过 10ms,拓扑稳定性是指通信链路在动态拓扑变化过程中,能够保持稳定的性能。

4. 能量管理要求

- **能耗控制:** 无人机集群通信系统应具备能耗控制功能,在保证通信稳定性的前提下,尽量降低通信能耗,能耗控制是指通过优化通信协议、调整通信频率等方式,降低通信模块的能耗。

- **续航能力:** 在标准负载和正常工作环境下,无人机集群通信系统的续航时间应不少于 2 小时,续航能力是指无人机在一次充电后能够持续飞行的时间,是衡量无人机性能的重要指标。

五、测试方法

1. 测试环境

- **室内测试环境:** 在无干扰的室内环境中,设置无人机集群通信测试平台,模拟实际应用场景。室内测试环境应尽量减少外部干扰,确保测试结果的准确性。

- **室外测试环境:** 在开阔的室外环境中,设置无人机集群通信测试场地,测试无人机集群在复杂环

境下的通信稳定性。室外测试环境应包括不同的地形、建筑物等，模拟实际应用中的复杂环境。

2. 通信链路性能测试

- **丢包率测试：**在通信链路中发送一定数量的数据包，统计丢失的数据包数量，计算丢包率。
- **延迟测试：**在通信链路中发送数据包，测量数据从发送端到接收端所需的时间，计算延迟。
- **带宽测试：**在通信链路中传输一定量的数据，测量传输所需的时间，计算带宽。

3. 抗干扰能力测试

- **电磁干扰测试：**在通信链路中引入电磁干扰源，测试通信链路在电磁干扰环境下的丢包率和延迟。

测试时应记录电磁干扰的强度和频率，以及通信链路的性能变化。

- **环境干扰测试：**在复杂环境中（如多径干扰、遮挡等），测试通信链路的丢包率和延迟。测试时应记录环境干扰的类型和强度，以及通信链路的性能变化。

4. 网络拓扑适应性测试

- **动态拓扑测试：**在无人机集群通信系统中，动态改变无人机数量和位置，测试通信链路的恢复时间和丢包率、延迟。测试时应记录无人机数量和位置的变化，以及通信链路的性能变化。

- **拓扑稳定性测试：**在动态拓扑变化过程中，持续监测通信链路的丢包率和延迟。测试时应记录拓扑变化的过程，以及通信链路的性能变化。

5. 能量管理测试

- **能耗测试：**在无人机集群通信系统中，测量通信模块的能耗。测试时应记录通信模块的电流、电压等参数，计算能耗。
- **续航能力测试：**在标准负载和正常工作环境下，测试无人机集群通信系统的续航时间。测试时应记录无人机的飞行时间，以及电池的电量变化。

六、测试报告

测试报告应包括以下内容：

- **测试目的：**明确测试的目的和要求，说明测试的背景和意义。
- **测试环境：**详细描述测试环境的设置和条件，包括室内和室外测试环境的具体情况。
- **测试方法：**说明测试的具体方法和步骤，包括通信链路性能测试、抗干扰能力测试、网络拓扑适应性测试和能量管理测试的具体方法。
- **测试结果：**列出测试的各项指标结果，包括通信链路性能、抗干扰能力、网络拓扑适应性和能量管理。
- **结论：**根据测试结果，对无人机集群通信稳定性进行综合评价，判断是否满足技术要求。结论应包括对测试结果的分析和总结，以及对无人机集群通信系统的整体评价。

七、附则

本标准自 2025 年 3 月 27 日起实施，发布日期至实施日期间为过渡期。如有必要，将根据技术发展和实际应用情况进行修订。本标准由归口广西电子商务企业联合会。