

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 1 月 11 日 (11.01.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/007256 A1

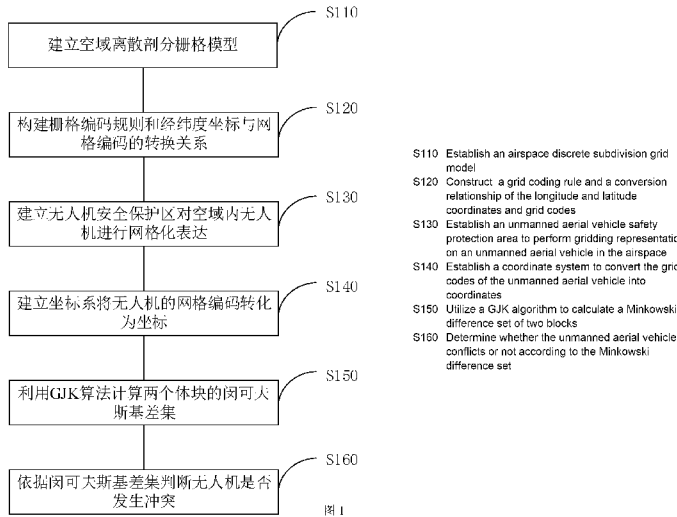
- (51) 国际专利分类号:
G06F 30/20 (2020.01) **G06F 119/02** (2020.01)
G01C 21/22 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2022/104396
- (22) 国际申请日: 2022 年 7 月 7 日 (07.07.2022)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (71) 申请人: 南京航空航天大学 (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) [CN/CN]; 中国江苏省南京市江宁区将军路29号, Jiangsu 211106 (CN)。
- (72) 发明人: 谢华(XIE, Hua); 中国江苏省南京市江宁区将军路29号, Jiangsu 211106 (CN)。朱永文(ZHU, Yongwen); 中国江苏省南京市江宁区将军路29号, Jiangsu 211106 (CN)。苏方正(SU, Fangzheng);

中国江苏省南京市江宁区将军路29号, Jiangsu 211106 (CN)。尹嘉男(YIN, Jianan); 中国江苏省南京市江宁区将军路29号, Jiangsu 211106 (CN)。袁立罡(YUAN, Ligang); 中国江苏省南京市江宁区将军路29号, Jiangsu 211106 (CN)。杨磊(YANG, Lei); 中国江苏省南京市江宁区将军路29号, Jiangsu 211106 (CN)。羊钊(YANG, Zhao); 中国江苏省南京市江宁区将军路29号, Jiangsu 211106 (CN)。包杰(BAO, Jie); 中国江苏省南京市江宁区将军路29号, Jiangsu 211106 (CN)。唐治理(TANG, Zhili); 中国江苏省南京市江宁区将军路29号, Jiangsu 211106 (CN)。王长春(WANG, Changchun); 中国江苏省南京市江宁区将军路29号, Jiangsu 211106 (CN)。蒲钊(PU, Fan); 中国江苏省南京市江宁区将军路29号, Jiangsu 211106 (CN)。

(74) 代理人: 北京睿智保诚专利代理事务所(普通合伙) (RZBC PATENT AGENCY (GENERAL

(54) Title: UNMANNED AERIAL VEHICLE CONFLICT DETECTION METHOD AND APPARATUS OF AIRSPACE DIGITAL GRID AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 空域数字化栅格的无人机冲突探测方法、装置和存储介质



(57) Abstract: The present invention provides an unmanned aerial vehicle conflict detection method and apparatus of an airspace digital grid and a storage medium. The method comprises: establishing an airspace discrete subdivision grid model; constructing a grid coding rule and a conversion relationship of the longitude and latitude coordinates and grid codes; establishing an unmanned aerial vehicle safety protection area to perform gridding representation on an unmanned aerial vehicle in the airspace; establishing a coordinate system to convert the grid codes of the unmanned aerial vehicle into coordinates; utilizing a GJK algorithm to calculate a Minkowski difference set of two blocks; and determining whether the unmanned aerial vehicle conflicts or not according to the Minkowski difference set. By combining airspace grid codes with the GJK algorithm, compared with the traditional paired coordinate operation, the complexity of conflict detection can be effectively reduced, a large amount of calculation time can be saved, and the efficiency of unmanned aerial vehicle conflict detection can be effectively improved, to satisfy rapid real-time conflict detection requirements for the unmanned aerial vehicle in the airspace.

PARTNERSHIP); 中国北京市丰台区马连道卫强校村118号(万丰基业)A座301室, Beijing 100071 (CN)。

- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:
一 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 本发明提供了空域数字化栅格的无人机冲突探测方法、装置和存储介质, 包括: 建立空域离散剖分栅格模型; 构建栅格编码规则和经纬度坐标与网格编码的转换关系; 建立无人机安全保护区对空域内无人机进行网格化表达; 建立坐标系将无人机的网格编码转化为坐标; 利用GJK算法计算两个体块的闵可夫斯基差集; 依据闵可夫斯基差集判断无人机是否发生冲突。通过将空域栅格编码与GJK算法进行结合, 与传统成对坐标运算相比可以有效降低冲突探测复杂度, 节约大量计算时间, 有效提高无人机冲突探测效率, 以满足空域内无人机快速实时的冲突探测需求。

空域数字化栅格的无人机冲突探测方法、装置和存储介质

技术领域

本发明涉及航空领域，具体涉及空域数字化栅格的无人机冲突探测方法、装置和存储介质。

背景技术

近年来，随着无人机规模数量急剧增加，无人机领域的研究得到空前发展。与传统的载人飞行器相比，无人机由于人机分离，具有成本低、性价比高、使用方便和机动性高等优点。随着无人机数量急剧增加，低空空域日渐拥堵，如何对低空空域内无人机冲突进行高效检测，是制约无人机安全飞行的关键问题。

传统的冲突探测方法可用于低空空域运行下的无人机冲突探测，通过计算各航迹点的位置之间的距离判断是否存在冲突。无人机航迹随着无人机数目的增多，且涉及的空域范围较大的情况下，如果采用传统冲突探测的方法，根据无人机的运行特性和体积，在经纬度坐标下运算不能达到很高的精度，且计算复杂度很高，会降低冲突探测的效率，造成算法运算时间过长甚至无法有效探测到冲突，难以满足无人机冲突探测的要求。

空域网格化是指通过栅格化的方法，建立空域网格单元剖分方法，构建基于网络索引的空域系统数据分析，开展空域性能相关研究的一种离散化空域的方法。目前研究证明，基于网络的冲突检测算法可以大幅提高冲突检测效率，但是，研究大部分没有整合网格化空域的数据信息空间，仅通过应用层面采用网格化方法，且提出的网格剖分方法并未针对具体的运行环境进行建模。

因此如何构建面向低空空域环境，设计网格编码提高无人机冲突探测效率，是目前亟待解决的问题。

发明内容

发明目的：本发明所要解决的技术问题是针对现有技术的不足，提供空域数字化栅格的无人机冲突探测方法，包括：

建立空域离散剖分栅格模型；

构建栅格编码规则和经纬度坐标与编码的转换关系；

建立无人机安全保护区对空域内无人机进行网格化表达；

建立坐标系将无人机的网格编码转化为坐标；

利用 GJK (Gilbert-Johnson-Keerthi) 距离算法计算两个体块的闵可夫斯基差集；

依据闵可夫斯基差集判断无人机是否发生冲突。

进一步的，所述建立空域离散剖分栅格模型包括如下步骤：

步骤 1，对地球经纬度空间进行三次拓展，将地理空间扩展为东西 512° 和南北 512° 、将 1° 拓展为 $64'$ 、将 $1'$ 拓展为 $64''$ ；

步骤 2，基于地理空间经纬度进行球面递归网格划分，将平面逐级进行度、分、秒三个层级剖分，将地球球面划分为 8 级递归网格，划分至最小边长为 $1''$ 的体块；

步骤 3，高度独立于球面划分，根据高度基准面的不同，可分为真高、场面气压高度、修正海平面气压高度、标准大气压高度，进行高度表达，以 X_1 (一般取值为 30m) 为粒度进行向上拓展。

进一步的，所述构建栅格编码规则和经纬度坐标与编码的转换关系包括：

编码包括平面编码和高度编码，平面编码和高度编码均采用“Z”形编码，“度”级体块编码用 d 表示；“分”级体块编码用 m 表示；“秒”级体块编码用 s 表示，将平面编码和高度编码相结合形成空域网格系统三维编码。

进一步的，所述建立无人机安全保护区包括：

根据无人机的运行性能建立无人机安全保护区，保护区的横向间隔与纵向间隔为 D_{hor} ，垂向间隔为 D_{ver} ，根据保护区大小选取合适粒度的网格。根据无人机的分类标准，一般民用消费级无人机属于微型无人机，对应第 8 层级网格粒度，第 6、7 级网格分别对应中型无人机和小型无人机大小，故以第 6、7、8 层级网格可表示绝大部分无人机。若部分无人机尺寸特殊，无法直接用一个栅格代表，可采用多个网格进行组合表达。

进一步的，对空域内无人机进行网格化表达方法包括：

网格化表达可以通过网格组合或独立对目标物体进行表达。首先只用一个立方体对无人机进行表示，Point 表示一个立方体信息，建立如下点对象表达模型：

$$\text{Point}=(\theta,\varphi,h)=V_{\text{layer}=n,(\theta,\varphi,h)};$$

式中, (θ, φ, h) 表示点对象所在位置的纬度、经度和高度。 $V_{\text{layer}=n, (\theta, \varphi, h)}$ 表示在该经纬高度下, 剖分层级为 n 的体块。在计算机存储以及运算的过程中, 利用 $\text{Code}_{\text{layer}=n, (\theta, \varphi, h)}$ 表示点对象;

然后用一些连续立方体对无人机的路径进行表示, Line 表示无人机飞行轨迹, 建立如下线对象表达模型:

$$\text{Line} = \sum (\theta, \varphi, h) = \sum V_{\text{layer}=n, (\theta, \varphi, h)};$$

当无人机或障碍物无法用一个立方体表示时, 用两个以上小网格进行堆积表示不规则形状物体, Space 表示通过两个以上立方体堆积形成的物体, 建立如下体对象表达模型:

$$\text{Space} = \sum (\theta, \varphi, h) = \sum V_{\text{layer}=n, (\theta, \varphi, h)}。$$

针对当前的无人机检测对象, 将从机载 ADS-B (ADS-B 系统是广播式自动相关监视系统的简称) 设备或者地面站获取的飞行经纬度和高度信息进行编码转换, 公式如下:

$$\text{Code}_{\text{Lon}} = \begin{cases} \text{Lon}_d / \text{gridsize}_n, & 1 \leq n \leq 2 \\ \text{Lon}_d \times 64 + \text{Lon}_m / \text{gridsize}_n, & 3 \leq n \leq 5 \\ \text{Lon}_d \times 64 \times 64 + \text{Lon}_m \times 64 + \text{Lon}_s / \text{gridsize}_n, & 6 \leq n \leq 8 \end{cases}$$

$$\text{Code}_{\text{Lat}} = \begin{cases} \text{Lat}_d / \text{gridsize}_n, & 1 \leq n \leq 2 \\ \text{Lat}_d \times 64 + \text{Lat}_m / \text{gridsize}_n, & 3 \leq n \leq 5 \\ \text{Lat}_d \times 64 \times 64 + \text{Lat}_m \times 64 + \text{Lat}_s / \text{gridsize}_n, & 6 \leq n \leq 8 \end{cases}$$

$$\text{Code}_{\text{Alt}} = \text{Alt} / x_1$$

其中, 经度编码、纬度编码和高度编码分别用 Code_{Lon} 、 Code_{Lat} 和 Code_{Alt} 表示, n 表示编码层级, gridsize_n 表示第 n 层级网格粒度大小, Lon_d 、 Lon_m 和 Lon_s 分别表示经度坐标中的度、分、秒, 高度层级按 x_1 为粒度向上拓展单独编码。

进一步的所述建立坐标系将无人机的网格编码转化为坐标包括:

对空域内无人机进行网格化表达后, 将无人机以及其航迹点置于网格坐标系中,

将经纬度坐标转化为直角坐标整数运算。

进一步的，所述利用 GJK 算法计算两个体块的闵可夫斯基差集包括：

使用 GJK 算法计算两个凸体之间的距离，物体 A 和物体 B 之间的距离由 $d(A, B)$ 表示，由下式定义：

$$d(A, B) = \min \|x - y\| : x \in A, y \in B ;$$

其中 x 和 y 分别表示物体 A 中的点和物体 B 中的点；物体 A 和 B 都是立方体；

物体 A 和 B 之间距离最近的两个点 $a \in A$ 和 $b \in B$ 满足 $\|a - b\| = d(A, B)$ ；

闵可夫斯基差集是物体 A 的所有点和物体 B 的所有点的差值构成的点集合，如下表示：

$$M(A, B) = \{x - y : x \in A, y \in B\} ;$$

$M(A, B)$ 表示立方体 A 和 B 的闵可夫斯基差集；

物体 A 和 B 之间的距离用闵可夫斯基差集表示，描述方式如下：

$$d(A, B) = \min \|M(A, B)\| = \min \|x - y\| : x \in A, y \in B .$$

进一步的，所述依据闵可夫斯基差集判断无人机是否发生冲突包括：将无人机之间的距离转化为无人机之间的闵可夫斯基差，通过判断差集是否包含原点来确定两物体是否发生碰撞，两个无人机距离越大，则差集的中心位置离原点越远，反之离原点越近。如果无人机体块发生碰撞，则差集多边形会包含原点。

本发明还提供了空域数字化栅格的无人机冲突探测装置，包括：

空域离散剖分栅格模型建立模块，用于，建立空域离散剖分栅格模型；

转换关系构建模块，用于，构建栅格编码规则和经纬度坐标与编码的转换关系；

网格化表达模块，用于，建立无人机安全保护区，对空域内无人机进行网格化表达；

坐标转换模块，用于，建立坐标系将无人机的网格编码转化为坐标；

闵可夫斯基差集计算模块，用于利用 GJK 距离算法计算两个体块的闵可夫斯基差集；

无人机冲突判定模块，用于，依据闵可夫斯基差集判断无人机是否发生冲突。

本发明还提供了一种存储介质，存储有计算机程序或指令，当所述计算机程序或指令被运行时，实现所述的空域数字化栅格的无人机冲突探测方法。

本发明的有益效果是，本发明提供了一种基于空域数字化栅格的无人机冲突探测方法。基于空域数字化栅格的无人机冲突探测方法包括：建立空域离散剖分栅格模型；构建栅格编码规则和经纬度坐标与网格编码的转换关系；建立无人机安全保护区对空域内无人机进行网格化表达；建立坐标系将无人机的网格编码转化为坐标；利用 GJK 算法计算两个体块的闵可夫斯基差集；依据闵可夫斯基差集判断无人机是否发生冲突。通过将空域栅格编码与 GJK 算法进行结合，与传统成对坐标运算相比可以有效降低冲突探测复杂度，节约大量计算时间，有效提高无人机冲突探测效率，以满足空域内无人机快速实时的冲突探测需求。

附图说明

下面结合附图和具体实施方式对本发明做更进一步的具体说明，本发明的上述和/或其他方面的优点将会变得更加清楚。

图 1 是本发明提供的基于空域数字化栅格的无人机冲突探测方法的流程图。

图 2 是网格拓展示意图。

图 3 是剖分层级划分示意图。

图 4 是闵可夫斯基差集距离转换示意图。

图 5 是三个相同类型的无人机 A、B、C 表示为三个第 8 层级栅格大小的立方体的示意图。

图 6 是 A 与 B 的闵可夫斯基差结果示意图。

图 7 是 A 与 C 的闵可夫斯基差结果示意图。

图 8 冲突探测时间比较

具体实施方式

实施例

如图 1 所示，本发明提供了一种基于空域数字化栅格的无人机冲突探测方法。基于模糊 C 均值聚类的空中交通区域划分方法包括以下步骤：

S110：建立空域离散剖分栅格模型；

- S120: 构建栅格编码规则和经纬度坐标与编码的转换关系;
- S130: 建立无人机安全保护区对空域内无人机进行网格化表达;
- S140: 建立坐标系将无人机的网格编码转化为坐标;
- S150: 利用 GJK 算法计算两个体块的闵可夫斯基差集;
- S160: 依据闵可夫斯基差集判断无人机是否发生冲突。

在本实施例中, 步骤 S110 包括: 对地球进行球面剖分和高度剖分, 进行递归网格划分, 针对低空空域的运行特点, 分析空域网格化方法的需求, 构建离散化的网格化空域并建立数字化模型的网格剖分。

S111:对地球经纬度空间进行三次拓展, 将地理空间扩展为东西 512° 和南北 512° 、将 1° 拓展为 64' 、将 1' 拓展为 64" , 如图 2 所示;

S112: 基于地理空间经纬度进行球面递归网格划分, 将平面逐级进行“度-分-秒”三个层级剖分, 将地球球面划分为 8 级递归网格, 划分至最小边长为 1" 的体块, 如表 1 所示;

S113: 高度独立于球面划分, 根据高度基准面的不同, 可分为真高、场面气压高度、修正海平面气压高度、标准大气压高度, 以 30m 为粒度进行向上拓展。

在本实施例中, 步骤 S120 包括以下步骤: 编码分为平面编码和高度编码两部分, 平面编码和高度编码均采用“Z”形编码, “度”级体块编码用 d 表示; “分”级体块编码用 m 表示; “秒”级体块编码用 s 表示, 将平面编码和高度编码相结合形成空域网格系统三维编码。

表 1

剖分层级	网格大小	赤道附近大致尺度
第一级	$15^{\circ} \times 15^{\circ}$	1669km
第二级	$1^{\circ} \times 1^{\circ}$	111km
第三级	$30' \times 30'$	56km
第四级	$10' \times 10'$	9km
第五级	$1' \times 1'$	1km
第六级	$6'' \times 6''$	0.2km
第七级	$3'' \times 3''$	0.1km
第八级	$1'' \times 1''$	0.03km

在本实施例中, 步骤 S130 包括以下步骤:

S131: 根据无人机的运行性能建立无人机安全保护区, 横向间隔与纵向间隔为 D_{hor} , 垂向间隔为 D_{ver} , 根据保护区大小选取合适粒度的网格。

S132: 建立点对象表达模型:

$$\text{Point} = (\theta, \varphi, h) = V_{\text{layer}=n, (\theta, \varphi, h)};$$

式中, (θ, φ, h) 表示点对象所在位置的纬度、经度和高度。 $V_{\text{layer}=n, (\theta, \varphi, h)}$ 表示在该经纬高度下, 剖分层级为 n 的体块, 如图 3 所示, 根据无人机的分类标准, 一般民用消费级无人机属于微型无人机, 对应第 8 层级网格粒度, 第 6、7 级网格分别对应中型无人机和小型无人机大小, 故以第 6、7、8 层级网格可表示绝大部分无人机。若部分无人机尺寸特殊, 无法直接用一个栅格代表, 可采用多个网格进行组合表达。

在计算机存储以及运算的过程中, 利用 $\text{Code}_{\text{layer}=n, (\theta, \varphi, h)}$ 表示点对象;

S133: 建立线对象表达模型:

$$\text{Line} = \sum (\theta, \varphi, h) = \sum V_{\text{layer}=n, (\theta, \varphi, h)};$$

S134: 建立体对象表达模型:

$$\text{Space} = \sum (\theta, \varphi, h) = \sum V_{\text{layer}=n, (\theta, \varphi, h)} \circ$$

针对当前的无人机检测对象, 将从机载 ADS-B 设备或者地面站获取的飞行经纬度和高度信息进行编码转换, 公式如下:

$$\text{Code}_{Lon} = \begin{cases} Lon_d / \text{gridsize}_n, & 1 \leq n \leq 2 \\ Lon_d \times 64 + Lon_m / \text{gridsize}_n, & 3 \leq n \leq 5 \\ Lon_d \times 64 \times 64 + Lon_m \times 64 + Lon_s / \text{gridsize}_n, & 6 \leq n \leq 8 \end{cases}$$

$$\text{Code}_{Lat} = \begin{cases} Lat_d / \text{gridsize}_n, & 1 \leq n \leq 2 \\ Lat_d \times 64 + Lat_m / \text{gridsize}_n, & 3 \leq n \leq 5 \\ Lat_d \times 64 \times 64 + Lat_m \times 64 + Lat_s / \text{gridsize}_n, & 6 \leq n \leq 8 \end{cases}$$

$$\text{Code}_{Alt} = Alt / x_1$$

其中, 经度编码、纬度编码和高度编码分别用 Code_{Lon} 、 Code_{Lat} 和 Code_{Alt} 表示, n 表示编码层级, gridsize_n 表示第 n 层级网格粒度大小, Lon_d 、 Lon_m 和 Lon_s 分别表示经

度坐标中的度、分、秒，高度层级按 x_1 为粒度向上拓展单独编码。

在本实施例中，步骤 S140 包括：将空域进行网格化表达后，将无人机以及其航迹点置于网格坐标系中，将经纬度坐标转化为直角坐标整数运算。

在本实施例中，步骤 S150 包括：

S151：GJK 算法计算两个凸体之间的距离，物体 A 和 B 之间的距离由 $d(A, B)$ 表示，由下式定义：

$$d(A, B) = \min \|x - y\| : x \in A, y \in B$$

物体 A 和 B 之间距离最近的两个点 $a \in A$ 和 $b \in B$ 满足 $\|a - b\| = d(A, B)$ ；

S152：闵可夫斯基差集是物体 A 的所有点和物体 B 的所有点的差值构成的点集合，可以如下表示：

$$M(A, B) = \{x - y : x \in A, y \in B\} ;$$

S153：物体 A 和 B 之间的距离可以用闵可夫斯基差集表示，如图 4 所示，描述方式如下：

$$d(A, B) = \min \|M(A, B)\| = \min \|x - y\| : x \in A, y \in B .$$

在本实施例中，步骤 S160 包括：将无人机之间的距离转化为两者的闵可夫斯基差，通过判断差集是否包含原点来确定两物体是否发生碰撞，两个无人机距离越大，则差集的中心位置离原点越远，反之离原点越近。如果无人机体块发生碰撞，则差集多边形会包含原点。当且仅当两个立方体的闵可夫斯基差集 $M(A, B)$ 包含原点时，无人机 A 和 B 发生碰撞。将三个相同类型的无人机 A、B、C 表示为三个第 8 层级栅格大小的立方体，如图 5 所示，A 和 B 接触，C 和 A、B 远离，将算法迭代次数设置为 5000 次，因此得到的闵可夫斯基差集中包含 5000 个点，将这些元素点置于坐标中显示，A 与 B、A 与 C 的闵可夫斯基差结果如图 6 和图 7 所示，直观展示出了闵可夫斯基差集与原点的关系。如图 6 所示，原点位于立方体 A 与 B 生成的闵可夫斯基差集内部，原点位于差集内部则表明二者发生冲突；而立方体 A 与 C 不存在冲突，则原点位于两者的闵可夫斯基差集外部，如图 7 所示。对本发明方法的冲突探测时间进行分析，采用三种不同大小的无人机，以第 6、7、8 级网格粒度作为三种不同类型无人机立方体表征，实

验选取了 3 架中型无人机, 3 架小型无人机, 14 架微型无人机共 20 架无人机, 同样以第 8 层级编码生成 $1km \times 1km \times 0.6km$ 网格化空域环境进行实验, 并记录了一段时间内两种算法的平均冲突检测时间, 结果如图 8 所示。随着无人机数量的增加, 传统三维坐标系下成对计算无人机之间的欧氏距离冲突探测方法的冲突探测时间呈近指数增长, 基于 GJK 的冲突探测方法增长呈线性增长, 增长趋势较为缓慢, 显示出本发明方法的高效性。

本实施例还提供了空域数字化栅格的无人机冲突探测装置, 包括:

空域离散剖分栅格模型建立模块, 用于, 建立空域离散剖分栅格模型;

转换关系构建模块, 用于, 构建栅格编码规则和经纬度坐标与编码的转换关系;

网格化表达模块, 用于, 建立无人机安全保护区, 对空域内无人机进行网格化表达;

坐标转换模块, 用于, 建立坐标系将无人机的网格编码转化为坐标;

闵可夫斯基差集计算模块, 用于利用 GJK 距离算法计算两个体块的闵可夫斯基差集;

无人机冲突判定模块, 用于, 依据闵可夫斯基差集判断无人机是否发生冲突。

本实施例还提供了一种存储介质, 存储有计算机程序或指令, 当所述计算机程序或指令被运行时, 实现所述的空域数字化栅格的无人机冲突探测方法。

如上所述, 根据本申请实施例的装置, 可以实现在各种终端设备中, 例如分布式计算系统的服务器。在一个示例中, 根据本申请实施例的装置可以作为一个软件模块和/或硬件模块而集成到所述终端设备中。例如, 该装置可以是该终端设备的操作系统中的一个软件模块, 或者可以是针对于该终端设备所开发的一个应用程序; 当然, 该装置同样可以是该终端设备的众多硬件模块之一。

替换地, 在另一示例中, 该装置与终端设备也可以是分立的终端设备, 并且该装置可以通过有线和/或无线网络连接到该终端设备, 并且按照约定的数据格式来传输交互信息。

综上所述, 本发明提供了一种基于空域数字化栅格的无人机冲突探测方法, 包括: 建立空域离散剖分栅格模型; 构建栅格编码规则和经纬度坐标与网格编码的转换关系; 建立无人机安全保护区对空域内无人机进行网格化表达; 建立坐标系将无人机的网格

编码转化为坐标；利用 GJK 算法计算两个体块的闵可夫斯基差集；依据闵可夫斯基差集判断无人机是否发生冲突。通过将空域栅格编码与 GJK 算法进行结合，与传统成对坐标运算相比可以有效降低冲突探测复杂度，节约大量计算时间，有效提高无人机冲突探测效率，以满足空域内无人机快速实时的冲突探测需求。

本发明提供了空域数字化栅格的无人机冲突探测方法、装置和存储介质，具体实现该技术方案的方法和途径很多，以上所述仅是本发明的优选实施方式，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以做出若干改进和润饰，这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。本实施例中未明确的各组成部分均可用现有技术加以实现。

权 利 要 求 书

1、空域数字化栅格的无人机冲突探测方法，其特征在于，包括：

建立空域离散剖分栅格模型；

构建栅格编码规则和经纬度坐标与编码的转换关系；

建立无人机安全保护区，对空域内无人机进行网格化表达；

建立坐标系将无人机的网格编码转化为坐标；

利用 GJK 距离算法计算两个体块的闵可夫斯基差集；

依据闵可夫斯基差集判断无人机是否发生冲突。

2、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述建立空域离散剖分栅格模型包括如下步骤：

步骤 1，对地球经纬度空间进行三次拓展，将地理空间扩展为东西 512° 和南北 512° 、将 1° 拓展为 $64'$ 、将 $1'$ 拓展为 $64''$ ；

步骤 2，基于地理空间经纬度进行球面递归网格划分，将平面逐级进行度、分、秒三个层级剖分，将地球球面划分为 8 级递归网格，划分至最小边长为 $1''$ 的体块；

步骤 3，高度独立于球面划分，根据高度基准面的不同，进行高度表达，以 X_1 为粒度进行向上拓展。

3、如权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述构建栅格编码规则和经纬度坐标与编码的转换关系包括：

编码包括平面编码和高度编码，平面编码和高度编码均采用 Z 形编码，度级体块编码用 d 表示；分级体块编码用 m 表示；秒级体块编码用 s 表示，将平面编码和高度编码相结合形成空域网格系统三维编码。

4、如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述建立无人机安全保护区包括：

根据无人机的运行性能建立无人机安全保护区，保护区的横向间隔与纵向间隔为 D_{hor} ，垂向间隔为 D_{ver} ，根据保护区大小选取合适粒度的网格。

5、如权利要求 4 所述的方法，其特征在于，所述对空域内无人机进行网格化表达包括：

首先只用一个立方体对无人机进行表示，Point 表示一个立方体信息，建立如下点对象表达模型：

$$\text{Point}=(\theta,\varphi,h)=V_{\text{layer}=n,(\theta,\varphi,h)};$$

式中, θ, φ, h 分别表示点对象所在位置的纬度、经度和高度; $V_{\text{layer}=n,(\theta,\varphi,h)}$ 表示在 θ, φ, h 所在的经纬高度下, 剖分层级为 n 的体块; 用 $\text{Code}_{\text{layer}=n,(\theta,\varphi,h)}$ 表示点对象;

然后用连续立方体对无人机的路径进行表示, Line 表示无人机飞行轨迹, 建立如下线对象表达模型:

$$\text{Line} = \sum(\theta, \varphi, h) = \sum V_{\text{layer}=n,(\theta,\varphi,h)};$$

当无人机或障碍物无法用一个立方体表示时, 用两个以上小网格进行堆积表示不规则形状物体, Space 表示通过两个以上立方体堆积形成的物体, 建立如下体对象表达模型:

$$\text{Space} = \sum(\theta, \varphi, h) = \sum V_{\text{layer}=n,(\theta,\varphi,h)}$$

针对当前的无人机检测对象, 将从机载 ADS-B 设备或者地面站获取的飞行经纬度和高度信息进行编码转换, 公式如下:

$$\text{Code}_{\text{Lon}} = \begin{cases} \text{Lon}_d / \text{gridsize}_n, & 1 \leq n \leq 2 \\ \text{Lon}_d \times 64 + \text{Lon}_m / \text{gridsize}_n, & 3 \leq n \leq 5 \\ \text{Lon}_d \times 64 \times 64 + \text{Lon}_m \times 64 + \text{Lon}_s / \text{gridsize}_n, & 6 \leq n \leq 8 \end{cases}$$

$$\text{Code}_{\text{Lat}} = \begin{cases} \text{Lat}_d / \text{gridsize}_n, & 1 \leq n \leq 2 \\ \text{Lat}_d \times 64 + \text{Lat}_m / \text{gridsize}_n, & 3 \leq n \leq 5 \\ \text{Lat}_d \times 64 \times 64 + \text{Lat}_m \times 64 + \text{Lat}_s / \text{gridsize}_n, & 6 \leq n \leq 8 \end{cases}$$

$$\text{Code}_{\text{Alt}} = \text{Alt} / x_1$$

其中, 经度编码、纬度编码和高度编码分别用 Code_{Lon} 、 Code_{Lat} 和 Code_{Alt} 表示, n 表示编码层级, gridsize_n 表示第 n 层级网格粒度大小, Lon_d 、 Lon_m 和 Lon_s 分别表示经度坐标中的度、分、秒, 高度层级按 x_1 为粒度向上拓展单独编码。

6、如权利要求 5 所述的方法, 其特征在于, 所述建立坐标系将无人机的网格编码转化为坐标包括: 对空域内无人机进行网格化表达后, 将无人机以及其航迹点置于网格坐标系中, 将经纬度坐标转化为直角坐标整数运算。

7、如权利要求 6 所述的方法, 其特征在于, 所述利用 GJK 算法计算两个体块的

闵可夫斯基差集包括：

使用 GJK 算法计算两个凸体之间的距离，物体 A 和物体 B 之间的距离由 $d(A, B)$ 表示，由下式定义：

$$d(A, B) = \min \|x - y\| : x \in A, y \in B ;$$

其中 x 和 y 分别表示物体 A 中的点和物体 B 中的点；

物体 A 和物体 B 之间距离最近的两个点 $a \in A$ 和 $b \in B$ 满足 $\|a - b\| = d(A, B)$ ；

闵可夫斯基差集是物体 A 的所有点和物体 B 的所有点的差值构成的点集合，如下表示：

$$M(A, B) = \{x - y : x \in A, y \in B\} ;$$

$M(A, B)$ 表示立方体 A 和 B 的闵可夫斯基差集；

物体 A 和 B 之间的距离用闵可夫斯基差集表示，描述方式如下：

$$d(A, B) = \min \|M(A, B)\| = \min \|x - y\| : x \in A, y \in B .$$

8、如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，所述依据闵可夫斯基差集判断无人机是否发生冲突包括：将无人机之间的距离转化为无人机之间的闵可夫斯基差，通过判断差集是否包含原点来确定两物体是否发生碰撞。

9、空域数字化栅格的无人机冲突探测装置，其特征在于，包括：

空域离散剖分栅格模型建立模块，用于，建立空域离散剖分栅格模型；

转换关系构建模块，用于，构建栅格编码规则和经纬度坐标与编码的转换关系；

网格化表达模块，用于，建立无人机安全保护区，对空域内无人机进行网格化表达；

坐标转换模块，用于，建立坐标系将无人机的网格编码转化为坐标；

闵可夫斯基差集计算模块，用于利用 GJK 距离算法计算两个体块的闵可夫斯基差集；

无人机冲突判定模块，用于，依据闵可夫斯基差集判断无人机是否发生冲突。

10、一种存储介质，其特征在于，存储有计算机程序或指令，当所述计算机程序或指令被运行时，实现如权利要求 1 至 8 中任一项所述的方法。

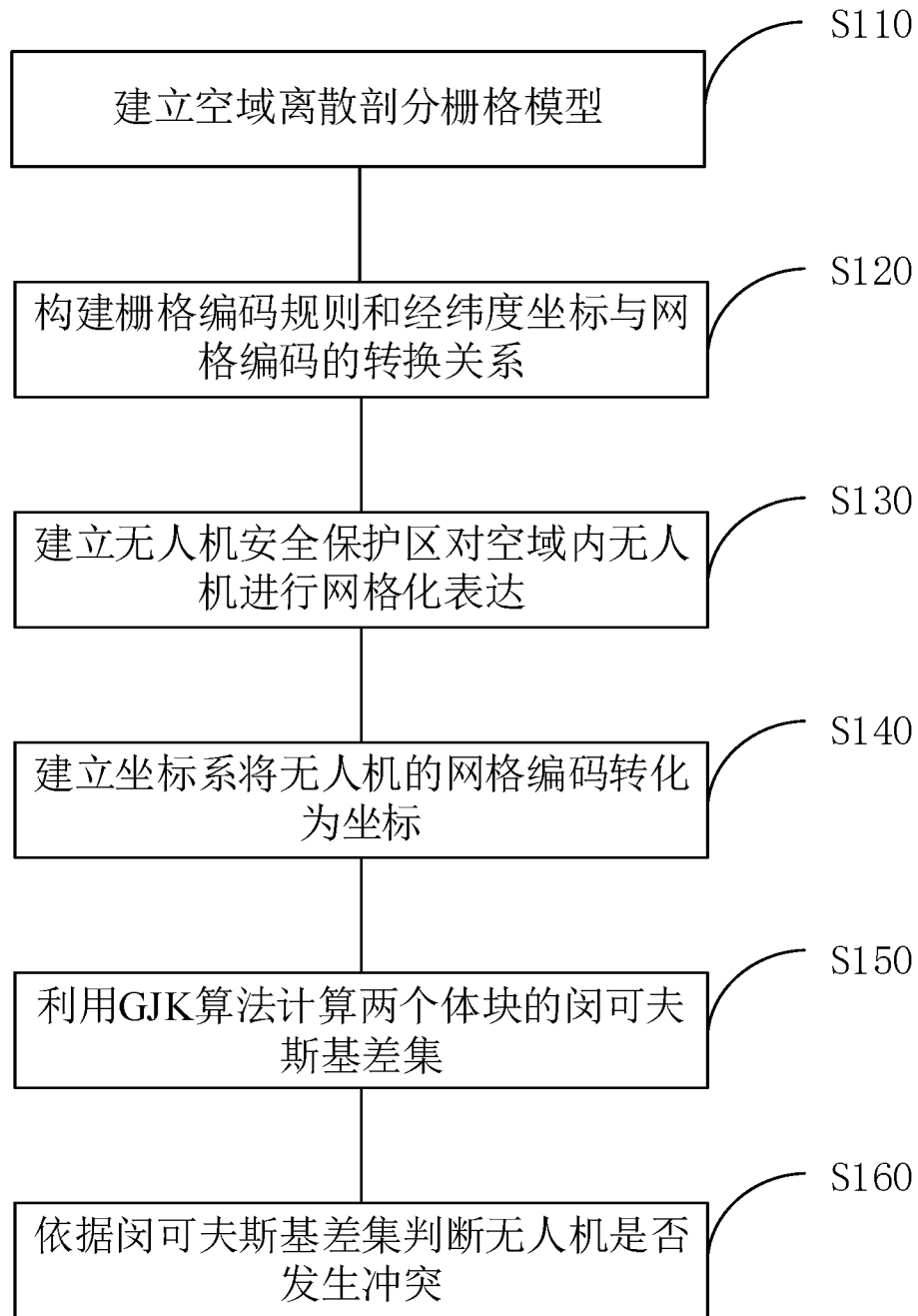


图 1

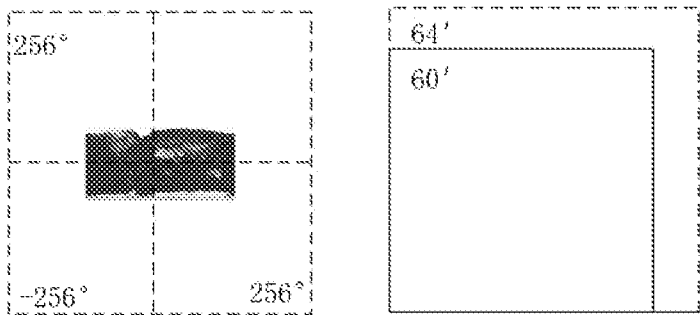


图 2

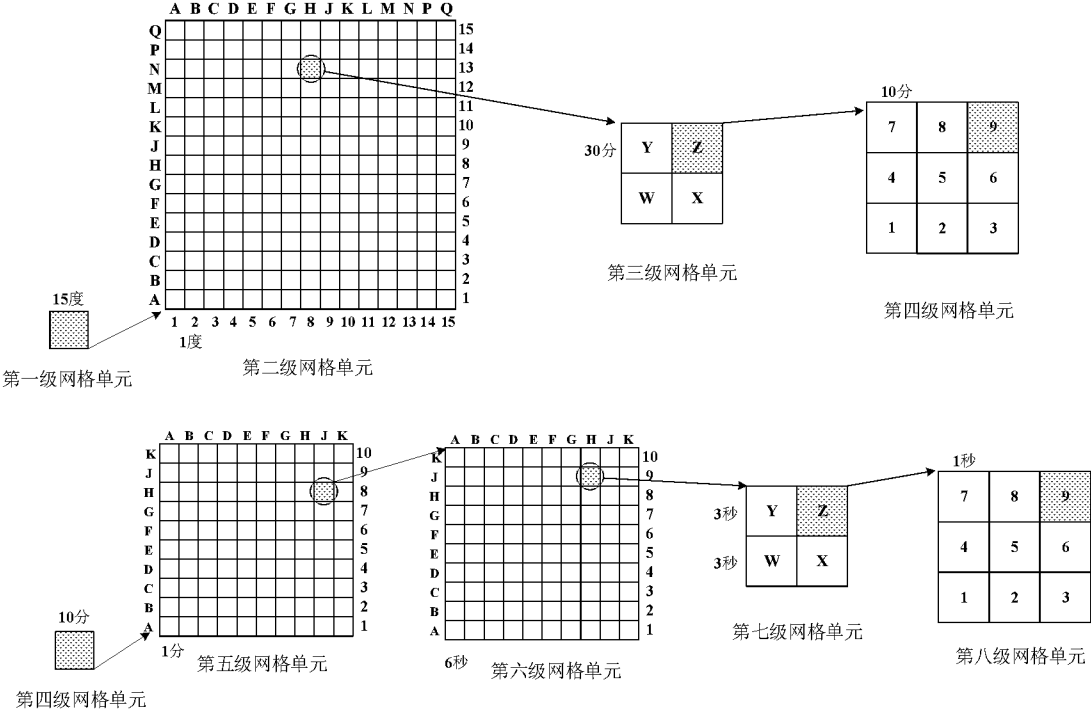


图 3

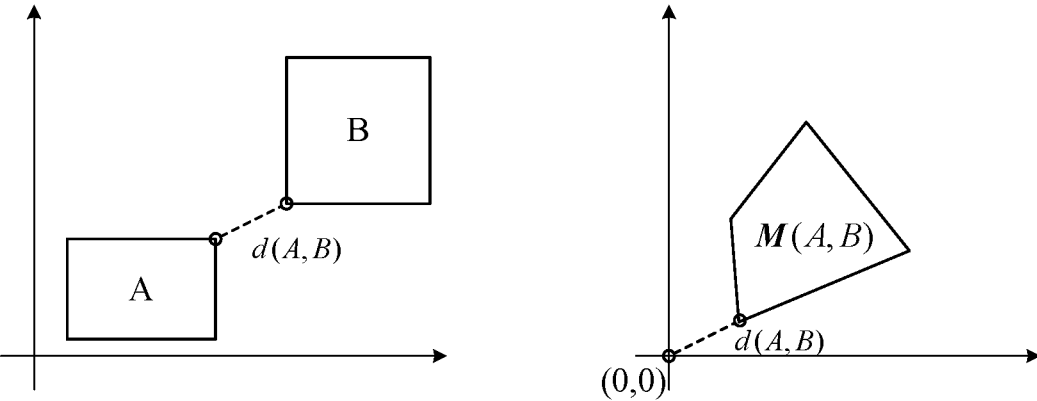


图 4

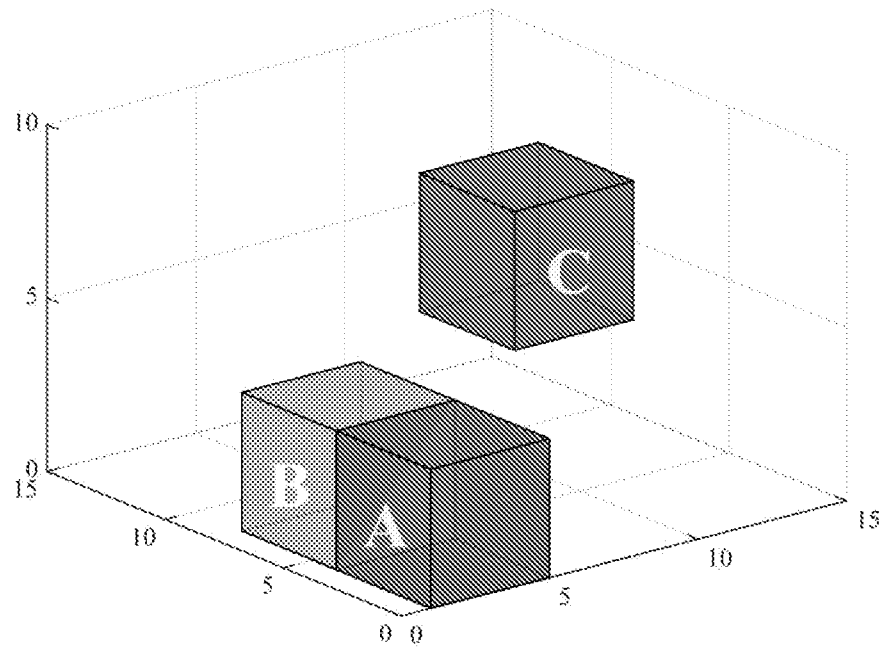


图 5

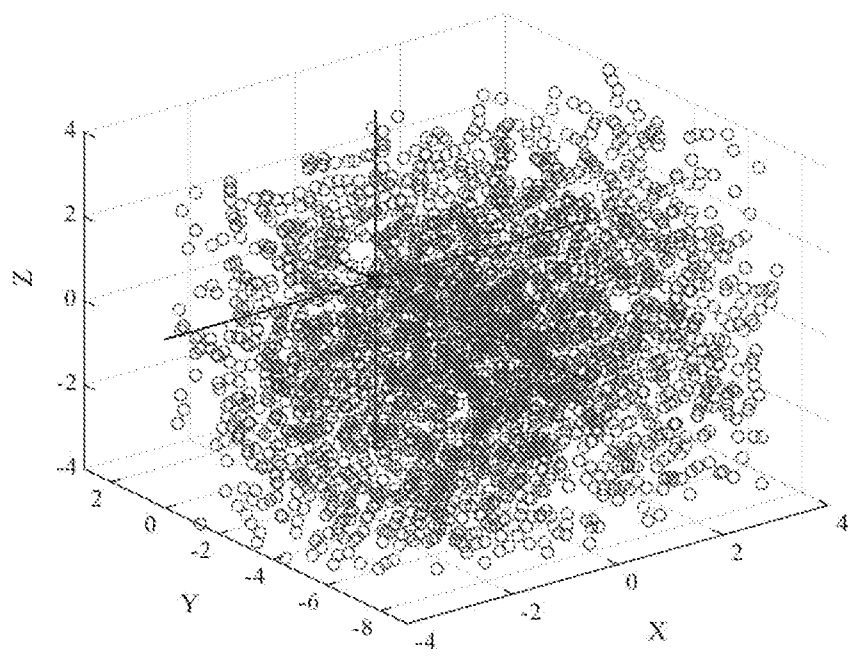


图 6

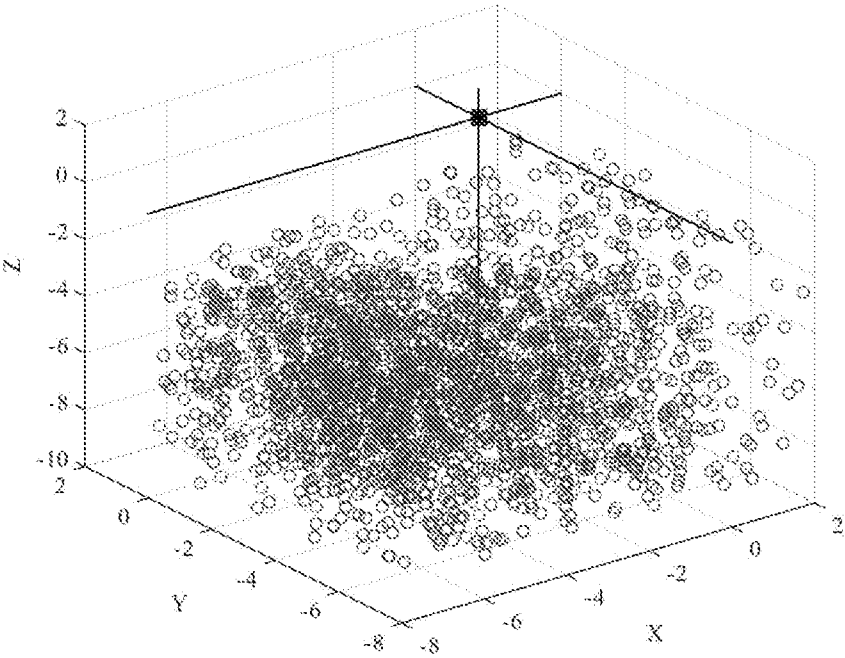


图 7

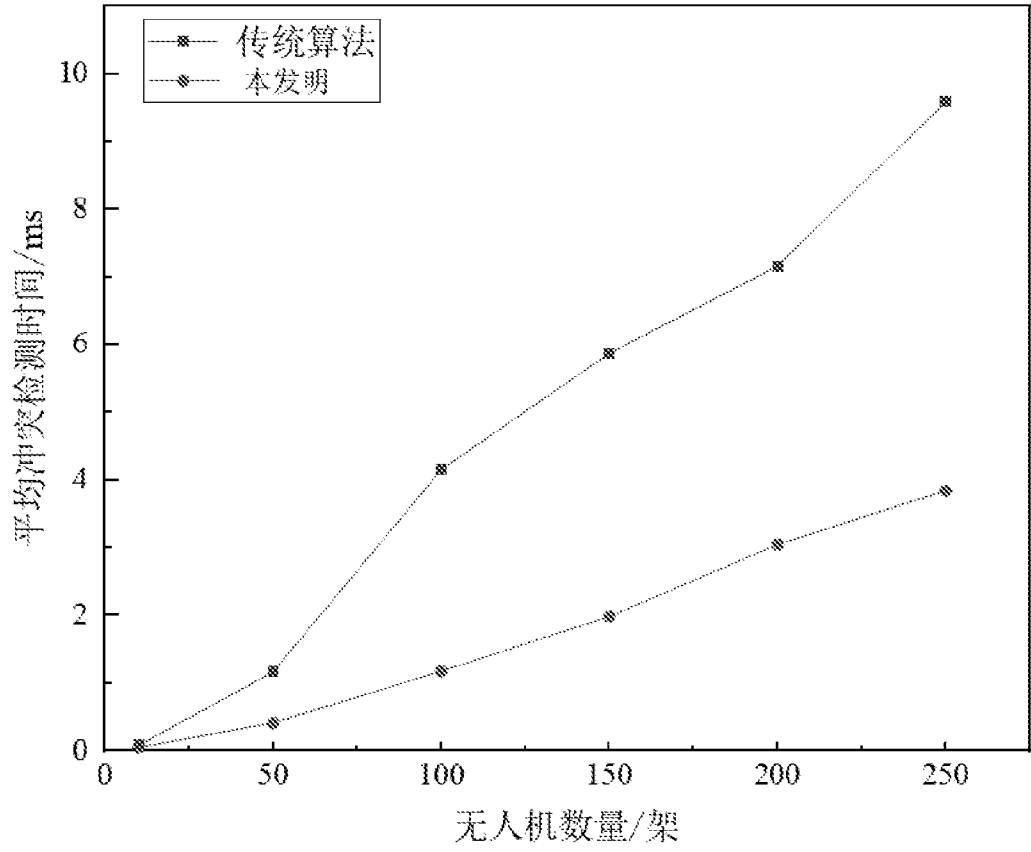


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/104396

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 30/20(2020.01)i; G01C 21/22(2006.01)i; G06F 119/02(2020.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F; G01C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; CNKI; ENTXTC; VEN; ENTXT; IEEE; Elsevier Science: 无人机, 冲突, 空域, 空中, 栅格, 拥堵, 低空, 网格, 剖分, 距离, 闵可夫斯基, 差集, GJK, conflict, airspace, grid, unmanned, UAV, subdivision, minkowski, difference

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	蔡明 等 (CAI, Ming et al.). "空间网格体系下基于GJK的空域冲突检测算法 (Research on Airspace Conflict Detection Algorithm Based on GJK in Spatial Grid System)" 西华大学学报(自然科学版) (<i>Journal of Xihua University(Natural Science Edition)</i>), Vol. 41., No. 1., 10 January 2022 (2022-01-10), ISSN: 1673-159X, page 37, section 1 to page 41, section 5	1-10
E	CN 115098993 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 23 September 2022 (2022-09-23) description, paragraphs [0001]-[0116], and figures 1-8	1-10
A	CN 111477034 A (NO.28 RESEARCH INSTITUTE OF CETC) 31 July 2020 (2020-07-31) entire document	1-10
A	CN 112348960 A (AIR FORCE ENGINEERING UNIVERSITY OF PLA) 09 February 2021 (2021-02-09) entire document	1-10
A	CN 113781846 A (AIR FORCE ENGINEERING UNIVERSITY OF PLA) 10 December 2021 (2021-12-10) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 November 2022

Date of mailing of the international search report

16 December 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/104396

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2013076767 A1 (AIRBUS OPERATIONS LTD. et al.) 28 March 2013 (2013-03-28) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/104396

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	115098993	A	23 September 2022	None			
CN	111477034	A	31 July 2020	CN	111477034	B	29 January 2021
CN	112348960	A	09 February 2021	None			
CN	113781846	A	10 December 2021	None			
US	2013076767	A1	28 March 2013	EP	2573695	A2	27 March 2013
				EP	2573695	A3	04 November 2015
				US	9424391	B2	23 August 2016

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/104396

A. 主题的分类 G06F 30/20(2020.01)i; G01C 21/22(2006.01)i; G06F 119/02(2020.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G06F; G01C 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNABS;CNTXT;CNKI;ENTXTC;VEN;ENTXT;IEEE;Elsevier Science:无人机, 冲突, 空域, 空中, 栅格, 拥堵, 低空, 网格, 剖分, 距离, 闵可夫斯基, 差集, GJK, conflict, airspace, grid, unmanned, UAV, subdivision, minkowski, difference		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	蔡明 等. “空间网格体系下基于GJK的空域冲突检测算法” 西华大学学报(自然科学版), 第41卷, 第1期, 2022年1月10日 (2022 - 01 - 10), ISSN: 1673-159X, 第37页第1节至第41页第5节	1-10
E	CN 115098993 A (南京航空航天大学) 2022年9月23日 (2022 - 09 - 23) 说明书第[0001]-[0116]段, 附图1-8	1-10
A	CN 111477034 A (中国电子科技集团公司第二十八研究所) 2020年7月31日 (2020 - 07 - 31) 全文	1-10
A	CN 112348960 A (中国人民解放军空军工程大学) 2021年2月9日 (2021 - 02 - 09) 全文	1-10
A	CN 113781846 A (中国人民解放军空军工程大学) 2021年12月10日 (2021 - 12 - 10) 全文	1-10
A	US 2013076767 A1 (AIRBUS OPERATIONS LTD 等) 2013年3月28日 (2013 - 03 - 28) 全文	1-10
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期
2022年11月30日		2022年12月16日
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员
中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		宋裕芳 电话号码 (86-512)88997085

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/104396

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	115098993	A	2022年9月23日	无			
CN	111477034	A	2020年7月31日	CN	111477034	B	2021年1月29日
CN	112348960	A	2021年2月9日	无			
CN	113781846	A	2021年12月10日	无			
US	2013076767	A1	2013年3月28日	EP	2573695	A2	2013年3月27日
				EP	2573695	A3	2015年11月4日
				US	9424391	B2	2016年8月23日