

(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 6 月 13 日 (13.06.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/119555 A1

(51) 国际专利分类号:
G06Q 10/0639 (2023.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/142872

(22) 国际申请日: 2022 年 12 月 28 日 (28.12.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202211572389.8 2022年12月8日 (08.12.2022) CN

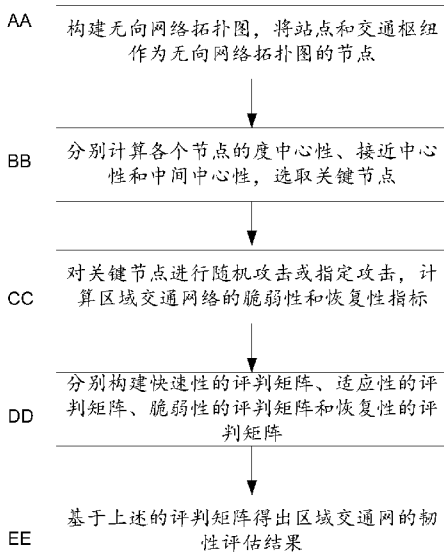
(71) 申请人: 山东大学(SHANDONG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国山东省济南市历下区经十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。山东省交通工程监理咨询有限公司(SHANDONG TRAFFIC ENGINEERING SUPERVISION CONSULTING CO.,

LTD.) [CN/CN]; 中国山东省济南市历下区奥体中路5006 号, Shandong 250014 (CN)。

(72) 发明人: 杨则英 (YANG, Zeying); 中国山东省济南市历下区经十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。武科(WU, Ke); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。毕传龙(BI, Chuanlong); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。李英勇(LI, Yingyong); 中国山东省济南市历下区经十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。曲建波(QU, Jianbo); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。张平(ZHANG, Ping); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。王恩东(WANG, Endong); 中国山东省济南市历下区经十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。孟庆伟(MENG, Qingwei); 中国山东省济南市历下区经十路 17923 号, Shandong

(54) Title: REGIONAL TRANSPORT NETWORK RESILIENCE EVALUATION METHOD AND SYSTEM

(54) 发明名称: 一种区域交通网韧性评估方法及系统



AA CONSTRUCT AN UNDIRECTED NETWORK TOPOLOGICAL GRAPH AND USE STATIONS AND TRANSPORT HUBS AS NODES OF THE UNDIRECTED NETWORK TOPOLOGICAL GRAPH
BB RESPECTIVELY CALCULATE THE DEGREE CENTRALITY, THE CLOSENESS CENTRALITY, AND THE BETWEENNESS CENTRALITY OF EACH NODE, AND SELECT KEY NODES
CC CARRY OUT RANDOM ATTACK OR SPECIFIED ATTACK ON THE KEY NODES, AND CALCULATE VULNERABILITY AND RESTORABILITY INDICATORS OF A REGIONAL TRANSPORT NETWORK
DD RESPECTIVELY CONSTRUCT A RAPIDNESS EVALUATION MATRIX, AN ADAPTABILITY EVALUATION MATRIX, A VULNERABILITY EVALUATION MATRIX, AND A RESTORABILITY EVALUATION MATRIX
EE OBTAIN A RESILIENCE EVALUATION RESULT OF THE REGIONAL TRANSPORT NETWORK ON THE BASIS OF THE EVALUATION MATRICES

图 1

(57) Abstract: Disclosed in the present invention are a regional transport network resilience evaluation method and system. The method comprises: constructing an undirected network topological graph according to transport network planning of a set region, and using stations and transport hubs as nodes of the undirected network topological graph; respectively calculating the degree centrality, the closeness centrality, and the betweenness centrality of each node, and selecting key nodes; carrying out random attack or specified attack on the key nodes, and calculating vulnerability and restorability indicators of a regional transport network; determining impact factors for the rapidness and the adaptability, and respectively constructing a rapidness evaluation matrix, an adaptability evaluation matrix, a vulnerability evaluation matrix, and a restorability evaluation matrix; and obtaining a resilience evaluation result of the regional

250061 (CN)。高庆水(GAO, Qingshui); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。王洪云(WANG, Hongyun); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。高新学(GAO, Xinxue); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。赵峰(ZHAO, Feng); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。马凯凯(MA, Kaikai); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。孙荣晓(SUN, Rongxiao); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。房明(FANG, Ming); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。赵丽(ZHAO, Li); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。单传皓(SHAN, Chuanhao); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。曲伟松(QU, Weisong); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。杨乾一(YANG, Qianyi); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。周广通(ZHOU, Guangtong); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。刘杰(LIU, Jie); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。王天旻(WANG, Tianmin); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。李照宇(LI, Zhaoyu); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。张鹏(ZHANG, Peng); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。刘环(LIU, Huan); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。孙芮(SUN, Rui); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。段蓉蓉(DUAN, Rongrong); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。曲植霖(QU, Zhilin); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。王成赫(WANG, Chenghe); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。

(74) 代理人: 济南圣达知识产权代理有限公司(JINAN SHENGDA INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国山东省济南市历下区经十路17703号华特广场B510室, Shandong 250061 (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, 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, CV, 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, ME, 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:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

transport network on the basis of the evaluation matrices. According to the present invention, the regional transport network resilience can be accurately evaluated without depending on historical data when the regional transport is affected and without being restricted to the size of a region which has undergone interference.

(57) 摘要: 本发明公开了一种区域交通网韧性评估方法及系统, 包括: 根据设定区域的交通网络规划构建无向网络拓扑图, 将站点和交通枢纽作为无向网络拓扑图的节点; 分别计算各个节点的度中心性、接近中心性和中间中心性, 选取关键节点; 对关键节点进行随机攻击或指定攻击, 计算区域交通网络的脆弱性和恢复性指标; 确定对快速性和适应性的影响因素, 分别构建快速性的评判矩阵、适应性的评判矩阵、脆弱性的评判矩阵和恢复性的评判矩阵; 基于上述的评判矩阵得出区域交通网的韧性评估结果。本发明可以不依赖于区域交通受影响时的历史数据, 不局限于受过干扰的区域大小, 实现对区域交通网韧性的准确评估。

一种区域交通网韧性评估方法及系统

本发明要求于2022年12月8日提交中国专利局、申请号为202211572389.8、发明名称为“一种区域交通网韧性评估方法及系统”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本发明中。

技术领域

本发明涉及区域交通网络管理与特性分析技术领域，尤其涉及一种区域交通网韧性评估方法及系统。

背景技术

本部分的陈述仅仅是提供了与本发明相关的背景技术信息，不必然构成在先技术。

近年来对交通网络韧性的相关研究层出不穷，其中“韧性”一词首先来源于拉丁文，即表达反弹回弹或者抵抗的能力。物体的韧性被定义为在弯曲、拉伸或者被压缩后反冲或回弹的能力。起初有两种不同的方式来定义韧性，一种是首先被运用于生态学中的定义，即系统从一种状态变化到另一种状态之前可以吸收的扰动，该定义不要求系统是否始终处于或接近某种平衡，即系统在遭受状态、参数变化时吸收后保持或维持在某一状态的能力。另一种则是后来韧性才被运用在工程之中的定义，即指系统维持在某一稳定平衡附近的能力，该定义将系统在受到扰动后恢复到平衡或稳定状态所需的时间作为其恢复的度量。近年来这一概念也被运用于经济学与空间科学。

良好的交通网对于地区的运作至关重要，因为良好的交通网不仅承担着人

们日常流动和货物运输的责任，还是能够及时救援与修复其他受到破坏的基础设施的前提之一。

对交通网的韧性评估有利于决策者对于资源的合理分配与做出合理的决策，以便于交通网在面对突发事件后能够快速恢复功能。其中突发事件可大致分为内部和外部因素，外部因素包括、暴雨、降雪、山体滑坡、泥石流、地震、洪水、海啸、龙卷风等自然；内在因素包括技术故障或组件损坏等等。这些因素成为扰动交通网的关键因素，交通网的韧性能力可以看做是吸收能力、适应能力和恢复能力的综合考量。目前对于区域交通韧性的评估需要依赖于大量的历史数据，对于一些小区域或者非常大的区域时，若缺少交通受干扰时的数据便无法对于该区域交通的韧性进行有效的评估，也就无法提前对于未知的干扰进行干预或改进。

发明内容

为了解决上述问题，本发明提出了一种区域交通网韧性评估方法及系统，基于区域交通网络拓扑图、动态韧性机能图与专家评构建评估矩阵，将区域交通韧性评估指标集中在脆弱性、恢复性、快速性与适应性；能够提前预知无论大小区域交通网受干扰阶段的韧性水平，提前发现区域交通的韧性薄弱点。

在一些实施方式中，采用如下技术方案：

一种区域交通网韧性评估方法，包括：

根据设定区域的交通网络规划构建无向网络拓扑图，将站点和交通枢纽作为无向网络拓扑图的节点；

分别计算各个节点的度中心性、接近中心性和中间中心性，选取关键节点；

对关键节点进行随机攻击或指定攻击，计算区域交通网络的脆弱性和恢复

性指标；

确定对快速性和适应性的影响因素，分别构建快速性的评判矩阵、适应性的评判矩阵、脆弱性的评判矩阵和恢复性的评判矩阵；

基于上述的评判矩阵得出区域交通网的韧性评估结果。

其中，区域交通网的韧性通过该区域交通网的脆弱性、恢复性、适应性、快速性指标综合得出；对应四个指标的评判矩阵 B_{gx1} 、 B_{gx2} 、 B_{gx3} 、 B_{gx4} 组成综合

矩阵 $S = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{45} \end{bmatrix}$ ；其中，第一、二、三、四行分别为脆弱性、恢复

性、适应性、快速性的评判矩阵元素，将各指标的权重与综合矩阵相乘得到区

域交通网韧性总评判矩阵 $R_u = \gamma S = [s_1 \ s_2 \ s_3 \ s_4 \ s_5]$ ，并进行 $R = \frac{1}{\sum s_i} R_u$ 处理，其

中， $\sum s_i$ 为韧性总评判矩阵的元素之和；

最终得到区域交通网韧性总评判矩阵中百分之 $\frac{s_1}{\sum s_i}$ 的专家认为该区域交通

网韧性为极高水平、百分之 $\frac{s_2}{\sum s_i}$ 的专家认为韧性为高水平、百分之 $\frac{s_3}{\sum s_i}$ 的专家认

为韧性为中等水平、百分之 $\frac{s_4}{\sum s_i}$ 的专家认为韧性为低水平、百分之 $\frac{s_5}{\sum s_i}$ 的专家认

为韧性为极低水平。

在另一些实施方式中，采用如下技术方案：

一种区域交通网韧性评估系统，包括：

网络拓扑构建模块，用于根据设定区域的交通网络规划构建无向网络拓扑图，将站点和交通枢纽作为无向网络拓扑图的节点；

关键节点选取模块，用于分别计算各个节点的度中心性、接近中心性和中

间中心性，选取关键节点；

脆弱性和恢复性指标计算模块，用于对关键节点进行随机攻击或指定攻击，计算区域交通网络的脆弱性和恢复性指标；

评判矩阵构建模块，用于确定对快速性和适应性的影响因素，分别构建快速性的评判矩阵、适应性的评判矩阵、脆弱性的评判矩阵和恢复性的评判矩阵；

韧性评估模块，用于基于上述的评判矩阵得出区域交通网的韧性评估结果。

与现有技术相比，本发明的有益效果是：

(1) 本发明区域交通网韧性评估方法可以在不依赖于区域交通受影响时的历史数据，不局限于受过干扰的区域大小，通过构建快速性的评判矩阵、适应性的评判矩阵、脆弱性的评判矩阵和恢复性的评判矩阵，可以实现对区域交通网韧性的准确评估，从而预先找出区域交通韧性薄弱点，为区域交通韧性提升提供建设性与针对性的意见。

(2) 本发明根据各地区交通网络规划将各站点或交通枢纽作为节点、将航线或道路作为链路构成无向网络拓扑图后，计算各节点的度中心性、中间中心性和接近中心性并分别进行排序，通过节点的度中心性和中间中心性排名之和，同时辅以节点的接近中心性排名计算出各个节点的重要程度，从而对各节点进行重要程度的排序，从而筛选出关键节点，基于对关键节点的处理使得对于区域交通网络各项指标的评判结果更加准确。

本发明的其他特征和附加方面的优点将在下面的描述中部分给出，部分将从下面的描述中变得明显，或通过本方面的实践了解到。

附图说明

图1为本发明实施例中的区域交通网韧性评估方法流程图；

图 2 为本发明实施例中的区域交通韧性评估指标体系示意图；

图 3 为本发明实施例中的区域交通网韧性机能曲线示意图。

具体实施方式

应该指出，以下详细说明都是例示性的，旨在对本申请提供进一步的说明。除非另有指明，本发明使用的所有技术和科学术语具有与本申请所属技术领域的普通技术人员通常理解的含义。

需要注意的是，这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式，而非意图限制根据本申请的示例性实施方式。如在这里所使用的，除非上下文另外明确指出，否则单数形式也意图包括复数形式，此外，还应当理解的是，当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时，其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

实施例一

在一个或多个实施方式中，公开了一种区域交通网韧性评估方法，结合图 1，具体包括如下过程：

(1) 根据设定区域的交通网络规划构建无向网络拓扑图，将站点和交通枢纽作为无向网络拓扑图的节点；

本实施例中，首先根据各地区交通网络规划构建无向网络拓扑图，将各站点或交通枢纽（飞机场、火车站、公交车站、港口、十字路口等）作为节点 N_1 ， N_2 ， N_3 等，将航线或道路作为由节点连成的 $L_{i,j}$ 链路， $L_{i,j}$ 表示由节点 i 和节点 j 连成的链路。节点和链路构成无向网络拓扑图 $G(N,L)$ 。

(2) 结合图 2，分别计算各个节点的度中心性、接近中心性和中间中心性，选取关键节点；

本实施例中，节点的度中心性计算公式为：

$$D_i = \frac{J(i)}{n-1}$$

其中， $J(i)$ 表示直接连接到节点 N_i 的节点数， n 表示网络拓扑图中的节点数。

节点的中间中心性计算公式为：

$$Z_{Si} = \sum_{j < k} z_{jk}(i) = \sum_{j < k} \frac{d_{jk}(i)}{d_{jk}}$$

$$Z_i = \frac{2Z_{Si}}{[(n-1)(n-2)]}$$

其中， d_{jk} 表示从节点 j 到节点 k 的最短路径数， $d_{jk}(i)$ 表示经过节点 i 的从节点 j 到节点 k 的最短路径数； Z_i 为节点 i 标准化的中间中心性， Z_{Si} 为节点 i 的绝对中间中心性， $z_{jk}(i)$ 为网络中任意两点经过节点 i 的最短路径数量与这两点的总最短路径数的比值。

节点的接近中心性计算公式为：

$$J_{Si} = \sum_j c_{ij}$$

$$J_i = \frac{J_{Si}}{n-1}$$

其中， c_{ij} 是节点 i 到节点 j 的测地线距离， n 为网络拓扑图中的节点数，节点 i 的接近中心性即为节点 i 到所有其他节点的测地线之和与网络拓扑图的节点数减去1的比。

本实施例中，分别根据度中心性、中间中心性、接近中心性从高到低分别对节点进行排序；

然后根据度中心性和中间中心性的排名之和从小到大进行排序；

排名之和越小节点的重要程度越高，当两个节点的所述排名之和相同时，接近中心性排名越靠前者节点重要程度越高。比如：节点A的度中心性排名为1，中间中心性的排名为3，节点B的度中心性排名为3，中间中心性的排名为1，和都为4，但是节点A的接近中心性排名为2，节点B的接近中心性排名为3，则定节点A的重要程度比节点B高。

最终得到节点重要程度排序，选取重要程度最高的设定数量的节点，作为关键节点。

(3) 对关键节点进行随机攻击或指定攻击，计算区域交通网络的脆弱性和恢复性指标；

本实施例中，将攻击分为指定攻击和随机攻击，即指定节点失效或使随机节点失效。

指定攻击以关键节点重要程度排序次序为基准，从高到低依次使5%，10%，15%，20%，25%，30%，40%，60%，80%的节点失效，随机攻击则随机使同样梯度的节点失效，分别计算出区域网的脆弱性，分析区域网对于指定攻击和随机攻击的敏感程度。

脆弱性的计算通过下述公式确定：

$$C(G_0) = \frac{\sum_{\substack{i,j \in N \\ i \neq j}} \frac{c_{ij}^{Eucl}}{c_{ij}}}{n(n-1)}$$

$$C(G) = \frac{\sum_{\substack{i,j \in N \\ i \neq j}} \frac{c_{ij}^{Eucl}}{c_{ij}}}{n(n-1)}$$

其中，n为当前网络的节点数； $C(G_0)$ 为初始网络即全部节点皆未失效的网

络的脆弱性计算结果，此时 n 表示初始拓扑网络图的全部节点； $C(G)$ 为设定数量的节点受到攻击后，恢复的节点加上剩余的未被攻击的节点的网络脆弱性计算结果，此时 n 表示恢复的节点加上剩余的未被攻击的节点数；

c_{ij}^{Eucl} 为节点 i 和 j 之间的欧基米德距离，即直观的两点之间最短距离， c_{ij} 为节点 i 和节点 j 之间的实际距离。

通过计算 $C(G_0)$ 和 $C(G)$ 之间的差值来量化区域交通网的脆弱性；比如：80% 的节点失效时计算的两者的差值，与 60% 的节点失效时计算的两者的差值进行比较，两者相差的越多，说明区域交通网的脆弱性越差。

将恢复分为指定恢复和随机恢复，节点破坏度为 80% 的交通网，指定恢复则按节点重要度从高到低依次恢复 5%，10%，15%，20%，25%，30%，40%，60%，80%，随机恢复则是同样梯度的节点恢复，计算网络的相对机能，得到如图 3 所示的区域交通网韧性机能曲线，进而得出区域交通网的恢复性。

其中相对机能通过该公式计算：

$$X(G) = \frac{C(G)}{C(G_0)}$$

其中， $X(G)$ 表示网络恢复前后的相对机能，能够反应恢复不同数量节点时的网络恢复能力。 $C(G_0)$ 为初始网络即全部节点皆未失效的网络的脆弱性计算结果， $C(G)$ 为设定数量的节点受到攻击后，恢复的节点加上剩余的未被攻击的节点的网络脆弱性计算结果。

(4) 确定对快速性和适应性的影响因素，分别构建快速性的评判矩阵、适应性的评判矩阵、脆弱性的评判矩阵和恢复性的评判矩阵；

本实施例中，分析几种常见的影响因素对快速性和适应性的影响，具体包括日常客流量、平均旅行距离、平均通勤时间、人均占道路面积、修复技术水

平、该地区经济、该地区交通就业人数、该地区交通基础设施投资等，剔除影响较小的因素，保留影响较大的因素。

将各因素都以极高、高、中等、低、非常低表示，将专家的评判结果建立

成矩阵， $D_x = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & a_{m4} & a_{m5} \end{bmatrix}$ ，其中， m 表示影响因素的个数， a_{i1} ， a_{i2} ，

a_{i3} ， a_{i4} ， a_{i5} 分别为专家认为的关于快速性或适应性的某种因素达到极高、高、中等、低、非常低水平的比例，比如：共有 10 名专家参与了评判快速性的某种因素比如“修复技术水平”，其中有 2 名认为该因素达到了极高水平，4 名认为达到了高水平，3 名认为达到了中等水平，1 名认为达到了低水平，0 名认为达到了非常低水平，那么 a_{i1} 、 a_{i2} 、 a_{i3} 、 a_{i4} 、 a_{i5} 分别为 0.2、0.4、0.3、0.1、0。

再将设定的各因素的权重组成矩阵 $A_x = [r_1 \ r_2 \ r_3 \ \cdots \ r_m]$ ，其中的 m 与 D_x 中的 m 一致。

最后得出快速性或适应性的评判矩阵 $B_{xi} = A_x D_x$ ，并将矩阵进行 $B_{gxi} = \frac{1}{\sum b_i} B_{xi}$ 处理，其中， $\sum b_i$ 为 B_{xi} 中所有元素的和。

最终，得到快速性的评判矩阵 $B_{gx1} = [c_{11} \ c_{12} \ c_{13} \ c_{14} \ c_{15}]$

同理，得到适应性的评判矩阵 $B_{gx2} = [c_{21} \ c_{22} \ c_{23} \ c_{24} \ c_{25}]$ 。

基于相同的思路，将专家根据步骤三得出的在网络节点失效 5%、10%、15% 等情况下的脆弱性变化情况与趋势作为一种影响因素，得到的 D_x 为单行矩阵，

对应的权重矩阵 A_x 为 1，进而根据 $B_{gxi} = \frac{1}{\sum b_i} B_{xi}$ 得到脆弱性 $C(G)$ 的评判矩阵

$B_{gx3} = [c_{31} \ c_{32} \ c_{33} \ c_{34} \ c_{35}]$ ；

同理，将专家根据节点在恢复 5%，10%，15% 等情况下的相对机能 $X(G)$

的变化情况与趋势作为一种影响因素,得到的 D_x 为单行矩阵,对应的权重矩阵 A_x

为1,进而根据 $B_{gxi} = \frac{1}{\sum b_i} B_{xi}$ 得到脆弱性 $C(G)$ 的评判矩阵

$$B_{gx4} = [c_{41} \quad c_{42} \quad c_{43} \quad c_{44} \quad c_{45}]。$$

(5) 基于上述的评判矩阵得出区域交通网的韧性评估结果。

本实施例中,区域交通网的韧性是通过该区域交通网的脆弱性、恢复性、适应性、快速性综合得出的,对应四个指标的评判矩阵 B_{gx1} 、 B_{gx2} 、 B_{gx3} 、 B_{gx4} 组

$$\text{成综合矩阵 } S = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{45} \end{bmatrix}, \text{第一、二、三、四行分别为脆弱性、恢复}$$

性、适应性、快速性的评判矩阵元素,将各指标权重与综合矩阵相乘得到区域

交通网韧性总评判矩阵 $R_u = \gamma S = [s_1 \quad s_2 \quad s_3 \quad s_4 \quad s_5]$,并进行 $R = \frac{1}{\sum s_i} R_u$ 处理, $\sum s_i$ 为

韧性总评判矩阵的元素之和。 γ 在一般情况下为 $\gamma = [0.25 \quad 0.25 \quad 0.25 \quad 0.25]$,特殊

情况如区域过大或过小则视具体情况而定,区域交通网韧性总评判矩阵中百分

之 $\frac{s_1}{\sum s_i}$ 的专家认为该区域交通网韧性为极高水平、百分之 $\frac{s_2}{\sum s_i}$ 的专家认为韧性为

高水平、百分之 $\frac{s_3}{\sum s_i}$ 的专家认为韧性为中等水平、百分之 $\frac{s_4}{\sum s_i}$ 的专家认为韧性为

低水平、百分之 $\frac{s_5}{\sum s_i}$ 的专家认为韧性为极低水平。另外可以对处于中、低、极

低水平的指标提出针对性的提升意见。

实施例二

在一个或多个实施方式中,公开了一种区域交通网韧性评估系统,包括:

网络拓扑构建模块,用于根据设定区域的交通网络规划构建无向网络拓扑

图，将站点和交通枢纽作为无向网络拓扑图的节点；

关键节点选取模块，用于分别计算各个节点的度中心性、接近中心性和中间中心性，选取关键节点；

脆弱性和恢复性指标计算模块，用于对关键节点进行随机攻击或指定攻击，计算区域交通网络的脆弱性和恢复性指标；

评判矩阵构建模块，用于确定对快速性和适应性的影响因素，分别构建快速性的评判矩阵、适应性的评判矩阵、脆弱性的评判矩阵和恢复性的评判矩阵；

韧性评估模块，用于基于上述的评判矩阵得出区域交通网的韧性评估结果。

上述各模块的具体实现方式已经在实施例一中进行了说明，此处不再详述。

上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述，但并非对本发明保护范围的限制，所属领域技术人员应该明白，在本发明的技术方案的基础上，本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

权利要求书

1.一种区域交通网韧性评估方法，其特征在于，包括：

根据设定区域的交通网络规划构建无向网络拓扑图，将站点和交通枢纽作为无向网络拓扑图的节点；

分别计算各个节点的度中心性、接近中心性和中间中心性，选取关键节点；

对关键节点进行随机攻击或指定攻击，计算区域交通网络的脆弱性和恢复性指标；

确定对快速性和适应性的影响因素，分别构建快速性的评判矩阵、适应性的评判矩阵、脆弱性的评判矩阵和恢复性的评判矩阵；

基于上述的评判矩阵得出区域交通网的韧性评估结果。

2.如权利要求1所述的一种区域交通网韧性评估方法，其特征在于，计算各个节点的度中心性，具体为：直接连接到节点 N_i 的节点数与网络拓扑图的节点数 n 减去1的比；

计算各个节点的中间中心性，具体为：

$$Z_i = \frac{2Z_{Si}}{[(n-1)(n-2)]}$$

$$Z_{Si} = \sum_{j < k} z_{jk}(i) = \sum_{j < k} \frac{d_{jk}(i)}{d_{jk}}$$

其中， d_{jk} 表示从节点 j 到节点 k 的最短路径数， $d_{jk}(i)$ 表示经过节点 i 的从节点 j 到节点 k 的最短路径数； Z_i 为节点 i 标准化的中间中心性， Z_{Si} 为节点 i 的绝对中间中心性； $z_{jk}(i)$ 为网络中任意两点经过节点 i 的最短路径数量与这两点的总最短路径数的比值；

计算各个节点的接近中心性，具体为：节点 i 到所有其他节点的测地线之和

与网络拓扑图的节点数减去 1 的比。

3.如权利要求 1 所述的一种区域交通网韧性评估方法，其特征在于，所述选取关键节点的方法为：

对所有节点的度中心性、中间中心性和接近中心性分别进行排序；

对所有节点的度中心性和中间中心性的排名之和进行排序；所述排名之和越小的节点，重要程度越高；如果两个节点的所述排名之和相等，则接近中心性排名靠前的节点重要程度高于接近中心性排名靠后的节点的重要程度；

最终得到所有节点的排序，选取排名靠前的设定数量的节点作为关键节点。

4.如权利要求 1 所述的一种区域交通网韧性评估方法，其特征在于，对关键节点进行随机攻击指的是使得随机节点失效；对关键节点进行指定攻击指的是使得指定节点失效。

5.如权利要求 1 所述的一种区域交通网韧性评估方法，其特征在于，计算区域交通网络的脆弱性指标，具体为：

$$C(G_0) = \frac{\sum_{\substack{i,j \in N \\ i \neq j}} \frac{C_{ij}^{Eucl}}{C_{ij}}}{n(n-1)}$$

$$C(G) = \frac{\sum_{\substack{i,j \in N \\ i \neq j}} \frac{C_{ij}^{Eucl}}{C_{ij}}}{n(n-1)}$$

其中， n 为当前网络的节点数； $C(G_0)$ 为初始网络即全部节点皆未失效的网络的脆弱性计算结果，此时 n 表示初始拓扑网络图的全部节点； $C(G)$ 为设定数量的节点受到攻击后，恢复的节点加上剩余的未被攻击的节点的网络脆弱性计

算结果，此时 n 表示恢复的节点加上剩余的未被攻击的节点数；

c_{ij}^{Encl} 为节点 i 和 j 之间的欧基米德距离，即直观的两点之间最短距离， c_{ij} 为节点 i 和节点 j 之间的实际距离；

通过计算 $C(G_0)$ 和 $C(G)$ 之间的差值来量化区域交通网的脆弱性。

6.如权利要求 5 所述的一种区域交通网韧性评估方法，其特征在于，计算区域交通网络的恢复性指标，具体为：

将受到攻击而失效的节点恢复，计算区域交通网络的相对机能：

$$X(G) = \frac{C(G)}{C(G_0)}。$$

7.如权利要求 1 所述的一种区域交通网韧性评估方法，其特征在于，确定对快速性和适应性的影响因素，具体包括：日常客流量、平均旅行距离、平均通勤时间、人均占道路面积、修复技术水平、地区经济、地区交通就业人数和地区交通基础设施投资。

8.如权利要求 1 所述的一种区域交通网韧性评估方法，其特征在于，构建快速性的评判矩阵，具体为：

将各因素都以极高、高、中等、低、非常低表示，将专家的评判结果建立

成矩阵， $D_x = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & a_{m4} & a_{m5} \end{bmatrix}$ ，其中 a_{i1} ， a_{i2} ， a_{i3} ， a_{i4} ， a_{i5} 分别为专家认

为的关于快速性的某种因素达到极高、高、中等、低、极低水平的比例，再将设定的各因素的权重组成矩阵 $A_x = [r_1 \ r_2 \ r_3 \ r_4 \ r_m]$ ，最后得出快速性的评判矩阵

$B_{xi} = A_x D_x$ ，并将评判矩阵进行 $B_{gxi} = \frac{1}{\sum b_i} B_{xi}$ 处理，其中， $\sum b_i$ 为 B_{xi} 中所有元素的和， m 表示因素的个数。

9.如权利要求 1 所述的一种区域交通网韧性评估方法，其特征在于，基于上述的评判矩阵得出区域交通网的韧性评估结果，具体为：

区域交通网的韧性通过该区域交通网的脆弱性、恢复性、适应性、快速性指标综合得出；对应四个指标的评判矩阵 B_{gx1} 、 B_{gx2} 、 B_{gx3} 、 B_{gx4} 组成综合矩阵

$$S = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{45} \end{bmatrix}; \text{其中，第一、二、三、四行分别为脆弱性、恢复性、适}$$

应性、快速性的评判矩阵元素，将各指标的权重与综合矩阵相乘得到区域交通网韧性总评判矩阵 $R_u = \gamma S = [s_1 \ s_2 \ s_3 \ s_4 \ s_5]$ ，并进行 $R = \frac{1}{\sum s_i} R_u$ 处理，其中， $\sum s_i$

为韧性总评判矩阵的元素之和；

最终得到区域交通网韧性总评判矩阵中百分之 $\frac{s_1}{\sum s_i}$ 的专家认为该区域交通网韧性为极高水平、百分之 $\frac{s_2}{\sum s_i}$ 的专家认为韧性为高水平、百分之 $\frac{s_3}{\sum s_i}$ 的专家认为韧性为中等水平、百分之 $\frac{s_4}{\sum s_i}$ 的专家认为韧性为低水平、百分之 $\frac{s_5}{\sum s_i}$ 的专家认为韧性为极低水平。

10.一种区域交通网韧性评估系统，其特征在于，包括：

网络拓扑构建模块，用于根据设定区域的交通网络规划构建无向网络拓扑图，将站点和交通枢纽作为无向网络拓扑图的节点；

关键节点选取模块，用于分别计算各个节点的度中心性、接近中心性和中间中心性，选取关键节点；

脆弱性和恢复性指标计算模块，用于对关键节点进行随机攻击或指定攻击，计算区域交通网络的脆弱性和恢复性指标；

评判矩阵构建模块，用于确定对快速性和适应性的影响因素，分别构建快速性的评判矩阵、适应性的评判矩阵、脆弱性的评判矩阵和恢复性的评判矩阵；

韧性评估模块，用于基于上述的评判矩阵得出区域交通网的韧性评估结果。

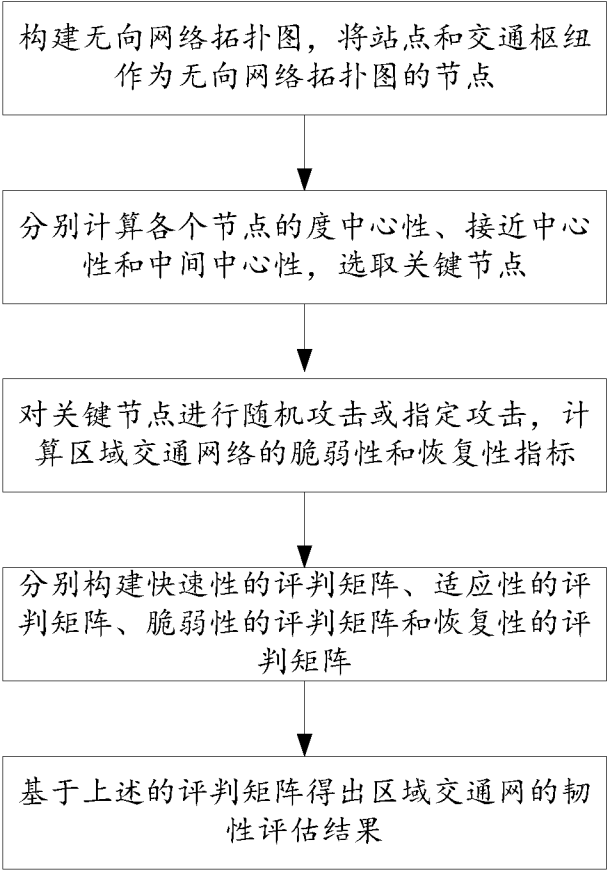


图 1

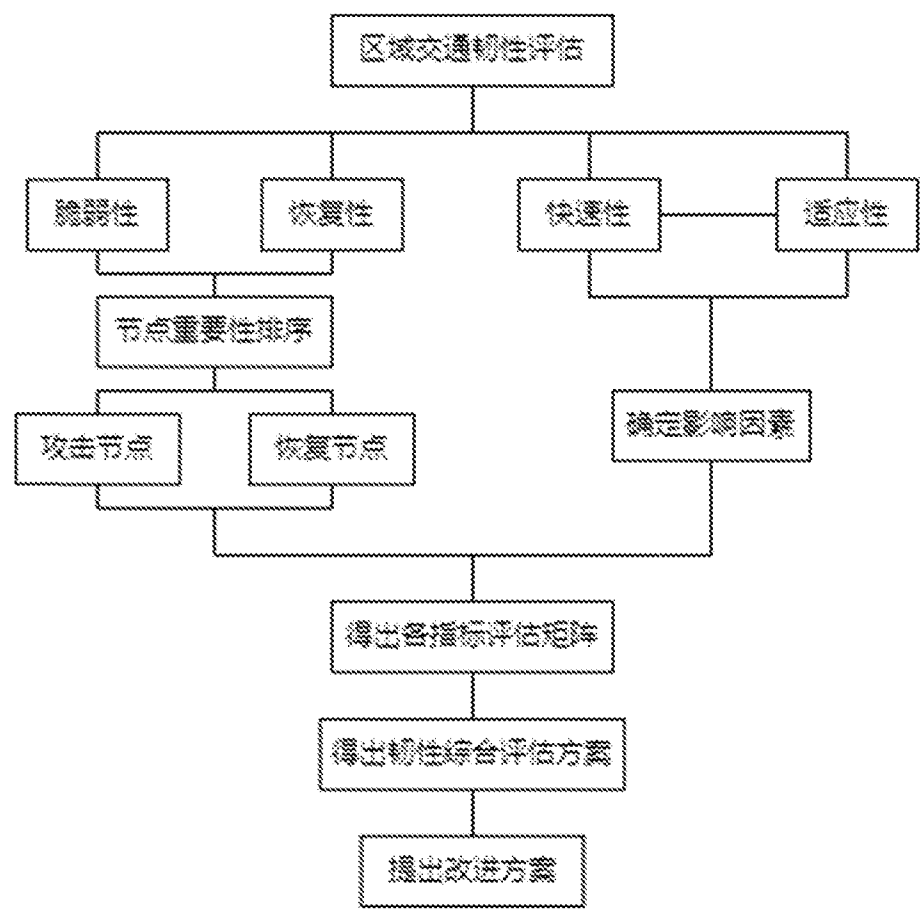


图 2

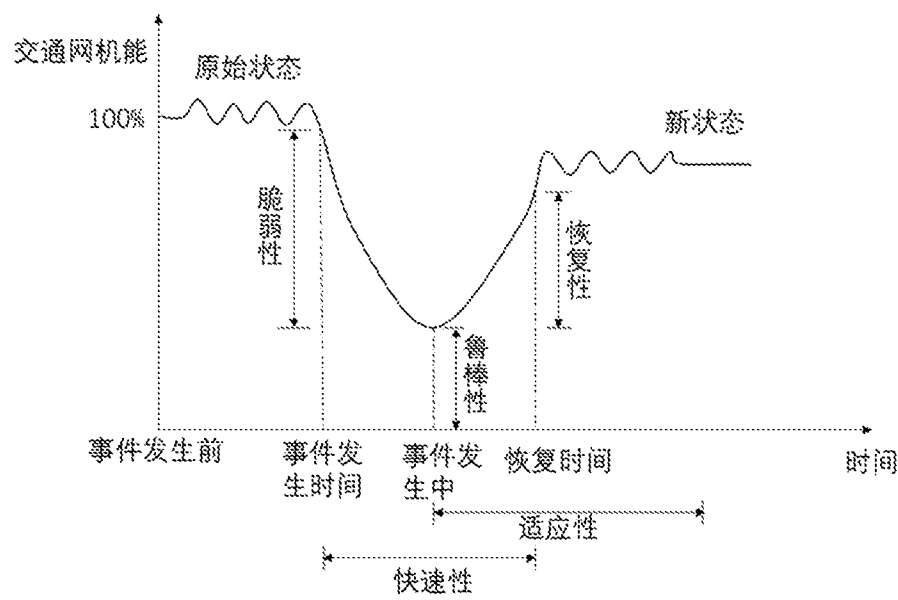


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/142872

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06Q10/0639(2023.01)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)

IPC: G06Q

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)

VEN, CNABS, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE: 脆弱性, 恢复性, 矩阵, 快速性, 适应性, 站点, 交通枢纽, 无向网络拓扑图, 中心性, 攻击, 交通网络, vulnerability, restorative, matrix, repidity, adaptation, station, topological graph

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 111882241 A (BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY) 03 November 2020 (2020-11-03) claims 1-7, and description, paragraphs [0052]-[0134]	1-10
A	CN 110135092 A (JIANGSU OPEN UNIVERSITY (THE CITY VOCATIONAL COLLEGE OF JIANGSU)) 16 August 2019 (2019-08-16) entire document	1-10
A	US 2019206057 A1 (OHIO STATE INNOVATION FOUNDATION et al.) 04 July 2019 (2019-07-04) 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

“D” document cited by the applicant in the international application

“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

16 June 2023

Date of mailing of the international search report

23 June 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/142872

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	111882241	A	03 November 2020	None			
CN	110135092	A	16 August 2019	None			
US	2019206057	A1	04 July 2019	US	2021209761	A1	08 July 2021
				EP	3512415	A1	24 July 2019
				WO	2018052987	A1	22 March 2018

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2022/142872

A. 主题的分类 G06Q10/0639(2023. 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) IPC: G06Q 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)) VEN, CNABS, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE:脆弱性, 恢复性, 矩阵, 快速性, 适应性, 站点, 交通枢纽, 无向网络拓扑图, 中心性, 攻击, 交通网络, vulnerability, restorative, matrix, repidity, adaptation, station, topological graph		
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
A	CN 111882241 A (北京交通大学) 2020年11月3日 (2020 - 11 - 03) 权利要求1-7, 说明书第[0052]-[0134]段	1-10
A	CN 110135092 A (江苏开放大学(江苏城市职业学院)) 2019年8月16日 (2019 - 08 - 16) 全文	1-10
A	US 2019206057 A1 (OHIO STATE INNOVATION FOUNDATION et al.) 2019年7月4日 (2019 - 07 - 04) 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 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “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 2023年6月16日		国际检索报告邮寄日期 2023年6月23日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		授权官员 张曼 电话号码 (+86) 010-53961309

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/142872

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	111882241	A	2020年11月3日	无			
CN	110135092	A	2019年8月16日	无			
US	2019206057	A1	2019年7月4日	US	2021209761	A1	2021年7月8日
				EP	3512415	A1	2019年7月24日
				WO	2018052987	A1	2018年3月22日