

(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
2014 年 7 月 3 日 (03.07.2014)



(10) 国际公布号
WO 2014/101832 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01N 29/04 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2013/090702
- (22) 国际申请日: 2013 年 12 月 27 日 (27.12.2013)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201210584811.1 2012 年 12 月 28 日 (28.12.2012) CN
- (71) 申请人: 中国路桥工程有限责任公司 (CHINA ROAD & BRIDGE CORPORATION) [CN/CN]; 中国北京市东城区安定门外大街丙 88 号, Beijing 100011 (CN)。 清华大学 (TSINGHUA UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清华大学, Beijing 100084 (CN)。
- (72) 发明人: 张建初 (ZHANG, Jianchu); 中国北京市东城区安定门外大街丙 88 号, Beijing 100011 (CN)。 向志海 (XIANG, Zhihai); 中国北京市海淀区清华大学, Beijing 100084 (CN)。 刘弘 (LIU, Hong); 中国北京市东城区安定门外大街丙 88 号, Beijing 100011 (CN)。 李植淮 (LI, Zhihuai); 中国北京市东城区安定门外大街丙 88 号, Beijing 100011 (CN)。 陆秋海 (LU, Qiuhai); 中国北京市海淀区清华大学, Beijing

100084 (CN)。 孙耀国 (SUN, Yaoguo); 中国北京市东城区安定门外大街丙 88 号, Beijing 100011 (CN)。 王艳华 (WANG, Yanhua); 中国北京市东城区安定门外大街丙 88 号, Beijing 100011 (CN)。 李连友 (LI, Lianyou); 中国北京市东城区安定门外大街丙 88 号, Beijing 100011 (CN)。 沈兆普 (SHEN, Zhaopu); 中国北京市东城区安定门外大街丙 88 号, Beijing 100011 (CN)。

(74) 代理人: 北京智汇东方知识产权代理事务所 (普通合伙) (WISEAST INTELLECTUAL PROPERTY LAW FIRM); 中国北京市海淀区成府路 28 号优盛大厦 D-1111 室, Beijing 100083 (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, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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,

[见续页]

(54) Title: KNOCKING SCANNING TYPE BRIDGE DAMAGE DETECTION SYSTEM

(54) 发明名称: 敲击扫描式桥梁损伤检测系统

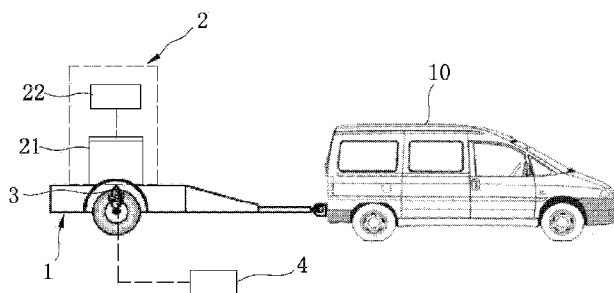


图1/Fig.1

(57) Abstract: A knocking scanning type bridge damage detection system comprises: a traveling car (1) capable of moving on a to-be-detected bridge; a knocking subsystem (2) disposed on the traveling car (1) and used for applying a knocking load to the to-be-detected bridge; a signal acquisition subsystem (3) disposed on the traveling car and used for collecting a response signal transferred from the to-be-detected bridge to the traveling car; and a signal processing apparatus (4) connected to the signal acquisition subsystem (3) and used for receiving and processing the signal collected by the signal acquisition subsystem (3), and outputting the bridge damage information processed result. The knocking scanning type bridge damage detection system can detect a bridge damage in a simple, convenient, efficient and high-accuracy manner.

(57) 摘要: 一种敲击扫描式桥梁损伤检测系统, 包括: 移动小车 (1), 能够在待测桥梁上移动; 敲击子系统 (2), 设于所述移动小车 (1), 所述敲击子系统用于向待测桥梁施加敲击载荷; 信号采集子系统 (3), 设于所述移动小车, 所述信号采集子系统 (3) 用于采集待测桥梁传递到所述移动小车上的响应信号; 信号处理装置 (4), 连接所述信号采集子系统 (3), 接收所述信号采集系统 (3) 所采集的信号并进行处理, 输出桥梁损伤信息处理结果, 该敲击扫描式桥梁损伤检测系统能够简便、高效且高精度地检测桥梁损伤。

WO 2014/101832 A1



RW, SD, SL, 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:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

敲击扫描式桥梁损伤检测系统

技术领域

本发明涉及桥梁损伤检测系统，具体涉及一种敲击扫描式桥梁损伤检测系统。

背景技术

伴随着科技的进步以及交通运输需求的提高，各式公路及轨道交通桥梁的数量飞速增长，这些桥梁在使用的过程中，不断受到温度变化、强风、降雨等外界环境的侵蚀，同时受到车辆载荷、车辆冲击的长期反复作用，并且部分桥梁还会遭到洪水、地震等自然灾害的损伤，随着使用年限的增加，桥梁普遍出现不同程度的疲劳效应和老化现象，桥体累积了大量的外界损伤，导致很多桥梁成为一定意义上的危桥，国内外的桥梁均出现过大量的垮塌实例，严重地威胁到了人们的生命安全和财产安全，所以，实时有效地对桥梁进行损伤检测十分重要。

从实施周期和检测精度角度来说，桥梁检测主要包括定期检测和实时监测两种方式：定期检测，如人工检测、桥梁动静载试验等，这种方式精度虽高，但是时间间隔长，不利于及时发现桥梁病害，同时需要中断桥梁交通，实施难度高；实时监测，如一些桥梁健康监测系统，此种方式虽然实时性好，但是精度低、成本高，因此较难在短时期内得到广泛的使用。

从实际操作的角度来说，现有的桥梁损伤识别技术可以分为离线局部检测和在线整体监测两种方式：离线局部检测是指在桥梁不工作时，采用无损检测手段，如肉眼观察、超声波、电磁涡流、X射线等，来仔细探测结构中的损伤，此类方法检测精度较高，但是往往需要中断交通，影响桥梁的正常工作，且需要事先知道损伤的大概位置，存在检测死角，检测效率低；在线整体监测则是在桥梁结构内预置传感器，实时的获取结构响应信号，来推断其中的损伤情况，此种方法虽然不需要中断桥梁交通，但检测精度较低，并且还存在传感器的安装、海量信号的传输与存储以及传感器的抗噪性、耐久性等问题。

发明内容

鉴于上述情况,亟需研发一种简便高效、高精度的桥梁检测方案。本设计人借其多年相关领域的技术经验以及丰富的专业知识,不断研发改进,并经大量的实践验证,提出了本发明的敲击扫描式桥梁损伤检测系统的技术方案。

本发明的目的在于提供一种敲击扫描式桥梁损伤检测系统,能够简便、高效且高精度地检测桥梁损伤。

为了实现上述目的,本发明提供了一种敲击扫描式桥梁损伤检测系统,包括:移动小车,能够在待测桥梁上移动;敲击子系统,设于所述移动小车,所述敲击子系统用于向待测桥梁施加敲击载荷;信号采集子系统,设于所述移动小车,所述信号采集子系统用于采集待测桥梁传递到所述移动小车上的响应信号;信号处理装置,连接所述信号采集子系统,接收所述信号采集系统所采集的信号并进行处理,输出桥梁损伤信息处理结果。

优选的,上述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统,其中,还包括一驱动装置,所述移动小车连接所述驱动装置,并由所述驱动装置驱动而在待测桥梁上移动。

优选的,上述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统,其中,所述移动小车包括:车身;车轮,设置于所述车身,所述车轮为刚性轮盘且直接接触待测桥梁表面。

优选的,上述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统,其中,所述车轮包括一个前车轮和两个后车轮,所述前车轮位于所述移动小车的纵向车身轴线上,两个所述后车轮对称地设于所述纵向车身轴线的两侧。

优选的,上述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统,其中,所述敲击子系统包括:敲击装置,固设于所述移动小车上,所述敲击装置用于产生敲击载荷并施加于待测桥梁;敲击控制装置,连接于所述敲击装置,用于控制所述敲击装置以产生预定的敲击载荷。

优选的,上述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统,其中,所述敲击装置为激振器,所述激振器固设于所述移动小车的车身上,所述激振器产生的激振力作用于所述移动小车的车身,通过所述移动小车将敲击载荷传递到待测桥梁。

优选的，上述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统，其中，所述信号采集子系统包括一个或者多个信号拾取装置，所述信号拾取装置设置于所述移动小车上，用于采集待测桥梁传递到所述移动小车上的响应信号。

5 优选的，上述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统，其中，所述信号拾取装置为加速度传感器。

优选的，上述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统，其中，所述加速度传感器设有一个，其设置于所述移动小车两个所述后车轮的通轴上。

10 优选的，上述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统，其中，所述加速度传感器位于所述通轴的中间位置，所述敲击装置位于所述加速度传感器的正上方。

优选的，上述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统，其中，所述信号处理装置包括：谱图获取装置，连接于所述信号拾取装置，用于对所述信号拾取装置检测到的信号进行变换处理，以获取在桥梁表面的每个位置处的信号谱图；谱图包络线截取装置，用于从所述信号谱图中
15 截取与所述敲击装置的敲击力频段相对应的谱图包络线；损伤指示值计算装置，根据所述截取的谱图包络线来计算待测桥梁表面的每个位置处的损伤指示值；损伤位置确定装置，根据待测桥梁表面的每个位置处的所述损伤指示值来确定结构中的损伤位置。

20 本发明的敲击扫描式桥梁损伤检测系统至少具有以下优点及特点：

1、本发明的敲击扫描式桥梁损伤检测系统具有严格的理论基础，其在待测桥梁上扫描一遍即可获得检测信号，并可根据检测信号经过相应的处理转换而得到桥梁的损伤信息，不需要预先知道桥梁损伤的大致位置，也不需要预先知道桥梁未损时的状态，操作简单易行，
25 效率高。通过本发明的敲击扫描式桥梁损伤检测系统的检测，即可方便快捷地掌握桥梁损伤情况，从而及时发现桥梁隐患，避免桥梁事故的发生。

2、本发明的敲击扫描式桥梁损伤检测系统的灵敏度很高，检测时间
30 短且不需要特殊的检测条件，检测精度高，成本低廉，与上述现有的桥梁检测方式相比，是集合了各种现有检测方式的优点，且避免了其缺陷。

3、本发明的敲击扫描式桥梁损伤检测系统抗干扰性很强，进行桥梁检测时不需要中断桥梁交通即可得到准确的检测结果，可实施性强且不影响桥梁的正常交通运输功能。

4、本发明的敲击扫描式桥梁损伤检测系统在进行桥梁检测之前，
5 不需要事先知道桥梁结构的完整特征信息，即可方便快捷的实施检测。

5、本发明的敲击扫描式桥梁损伤检测系统结构简单，检测时所需的人力成本低，且能够适应各种检测环境，适于推广应用。

上述说明仅是本发明技术方案的概述，为了能够更清楚了解本发明的技术手段，而可依照说明书的内容予以实施，并且为了让本发明的
10 的上述和其它目的、特征和优点能够更明显易懂，以下特举本发明的具体实施方式。

附图说明

通过阅读下文优选实施方式的详细描述，各种其他的优点和益处
15 对于本领域普通技术人员将变得清楚明了。附图仅用于示出优选实施方式的目的，而并不认为是对本发明的限制。而且在整个附图中，用相同的参考符号表示相同的部件。在附图中：

图 1 为本发明敲击扫描式桥梁损伤检测系统组成示意图；

图 2 为本发明敲击扫描式桥梁损伤检测系统一实施例的敲击子系
20 统设于移动小车结构示意图；

图 3 为本发明敲击扫描式桥梁损伤检测系统一实施例的信号检测装置设于移动小车结构示意图；

图 4 为本发明敲击扫描式桥梁损伤检测系统一实施例的检测信号
频谱示意图。

25 主要元件标号说明：

- 1 移动小车
- 10 驱动装置
- 11 车身
- 12 前车轮
- 30 13 后车轮
- 14 通轴
- 2 敲击子系统

- 21 敲击装置
- 22 敲击控制装置
- 3 信号采集子系统
- 31 信号拾取装置
- 5 4 信号处理装置
- L 车身轴线

具体实施方式

下面将参照附图更详细地描述本公开的示例性实施例。虽然附图
10 中显示了本公开的示例性实施例，然而应当理解，可以以各种形式实现本公开而不应被这里阐述的实施例所限制。相反，提供这些实施例是为了能够更透彻地理解本公开，并且能够将本公开的范围完整的传达给本领域的技术人员。

请参考图 1，为本发明敲击扫描式桥梁损伤检测系统组成示意图，
15 如图所示，本发明的敲击扫描式桥梁损伤检测系统主要包括：移动小车 1，能够在待测桥梁上移动；敲击子系统 2，设于移动小车 1，能够随移动小车 1 一同运动，敲击子系统 2 主要用于向待测桥梁施加敲击载荷，并且其能够使移动小车 1 在待测桥梁移动的同时向待测桥梁施加敲击载荷；信号采集子系统 3，设于移动小车 1，用于采集待测桥梁
20 传递到移动小车 1 上的敲击载荷的响应信号；信号处理装置 4，连接信号采集系统 3，接收信号采集系统 3 所采集到的信号并进行处理，输出反映桥梁损伤信息的处理结果。

移动小车 1 承载敲击子系统 2，带动其在待测桥梁上移动，在移动
小车 1 行走的同时，载敲击子系统 2 可持续施加敲击载荷，以实现
25 对整个待测桥梁的敲击扫描。移动小车 1 可连接一驱动装置 10，并由该驱动装置 10 驱动而在待测桥梁上移动，本实施例中，驱动装置 10 为一牵引车辆，牵引移动小车 1 运动。在其他实施例中，移动小车 1 也可自身具有动力，而可在桥梁上移动。另外，为了后期能够方便准确的确定桥梁损伤位置，驱动装置 10 和移动小车 1 应尽量保持匀速运动。

30 请参考图 2，为本发明敲击扫描式桥梁损伤检测系统一实施例的敲击子系统设于移动小车结构示意图，如图所示，敲击子系统 2 包括敲击装置 21 和敲击控制装置 22，其中敲击装置 21 固设于移动小车 1 上，

敲击装置 21 用于产生敲击载荷并施加于待测桥梁，本实施例中，敲击装置 21 为激振器，激振器固设于移动小车 1 的车身 11 上，激振器产生的激振力直接作用于移动小车 1 的车身 11，通过移动小车的车身及车轮等将敲击载荷传递到待测桥梁的桥面，也就是说，移动小车 1 除了提供支承作用之外，还负责传递由激振器产生的敲击载荷，所以，移动小车本身应经过特殊设计以降低或者完全消除对敲击载荷的缓冲作用，使敲击载荷能够完整有效地传递到待测桥梁，例如本实施例中，移动小车 1 可设计为刚性车身，车身各零部件之间采用固接方式连接，车轮设置于车身下方或两侧，车轮为刚性轮盘(如钢制轮盘)，车轮外缘无塑胶轮胎等缓冲部件，也就是说刚性轮盘外缘直接接触待测桥梁表面，小车悬挂系统进行改进，以上述结构来避免过滤掉敲击载荷，进一步优选的，移动小车的前车轮 12 设有一个，后车轮 13 设有两个，前车轮 12 位于移动小车的纵向车身轴线 L 上，两个后车轮 13 对称地设于车身轴线 L 的两侧，前车轮 12 和两个后车轮 13 形成等腰三角形，从而使移动小车 1 的移动更加稳定，并且当车身承受敲击载荷时，小车依然能够稳定前行，不发生跳动或者颠簸。

上述的激振器已为常规器件，市面上有多种规格可供选择，故其结构及功能不再详细说明。

敲击控制装置 22 与敲击装置 21 连接，其用于控制敲击装置 21，例如其敲击的频率以及敲击力的幅值等等，使敲击装置能够将预定频段及预定幅值的敲击载荷施加到移动小车车身上，或者说是待测桥梁上，本实施例中敲击装置 21 为激振器，敲击控制装置 22 相应的为激振器控制器，其结构和原理已为常规技术，不再赘述。

请结合参考图 3，为本发明敲击扫描式桥梁损伤检测系统一实施例的信号采集子系统设于移动小车的结构示意图。如图所示，信号采集子系统设于移动小车 1，用于采集待测桥梁传递到移动小车 1 上的响应信号，此处移动小车 1 又起到了传递桥梁响应信号的作用，所以进一步要求移动小车优选为刚性结构，如上所述，具有足够的刚性从而不削减响应信号的传递，并且移动小车的这种刚性结构使得其本身也不会产生干扰信号，影响信号采集子系统 3 的信号采集。

信号采集子系统 3 可包括一个或者多个信号拾取装置 31，信号拾取装置 31 可直接设置于移动小车 1 上，用于直接采集待测桥梁传递到

移动小车 1 上的敲击载荷的响应信号，信号拾取装置 31 可为传感器，例如常见的加速度传感器、速度传感器、位移传感器等。本实施例中，信号拾取装置 31 为加速度传感器，其设置有一个，该加速度传感器可设置于移动小车 1 上的任何位置，而为了使信号采集的灵敏度最高、精确度最高，优选的，加速度传感器设置于移动小车 2 两个后车轮 13 的通轴 14 上，且敲击装置 21(即激振器)位于加速度传感器的正上方，一般来说，激振器为直接固设于移动小车车身 11 的中部位置，而加速度传感器则是位于通轴 14 的中间位置，此位置能够采集到最佳的敲击载荷的响应信号。

当然，信号拾取装置 31 所采用的种类、所设置的数量及位置等，都可以根据实际环境和需要进行灵活调整，本领域技术人员可根据上述公开的实施例内容变通出多种实施例，但其均应属于本发明的保护范围。

信号处理装置 4 连接信号采集系统 3，接收其采集到的桥梁敲击载荷的响应信号并进行处理，输出反应桥梁损伤信息的处理结果。信号处理装置 4 可为一计算机系统，实际应用中，计算机系统可通过一常规的信号采集设备与移动小车上的传感器相连，以获得信号。为了获得高质量的检测数据，可选配高精度的数据采集卡，若为多通道数据采集，还应保证各个数据采集通道的同步性。本实施例中，信号拾取装置 31 为加速度传感器，所采集到的信号应为移动小车 1 所走过的待测桥梁的敲击响应加速度频谱，参考图 4，为本发明敲击扫描式桥梁损伤检测系统一实施例的检测信号频谱示意图，相应的，本实施例的信号处理装置可包括有：谱图获取装置、谱图包络线截取装置、损伤指示值计算装置和损伤位置确定装置。

其中，谱图获取装置，连接于信号拾取装置 31，即加速度传感器，用于对加速度传感器检测到的信号进行变换处理，以获取在桥梁表面的每个位置处的加速度信号谱图。具体来说，谱图获取装置根据检测精度的要求和实际环境情况，可以将待测桥梁表面划分为多个小部分，移动小车 1 带动敲击子系统 2 和信号采集子系统 3 扫描过每一个桥梁表面部分均需要一段时间，这期间，传感器所获取的信号对应为该段时间上的传感器信号分布，随后，谱图获取装置对一系列的传感器信号在时间上的分布进行变换处理，以获取上述信号相应的在频率域或

者尺度域上的表示，上述的变换处理可利用现有的相关技术领域的常规变换处理进行，例如，该变换可以是短时傅立叶变换或小波变换等等。经过变换，谱图获取装置可获取对应桥梁表面的每个位置部分处的信号频谱或尺度谱。

- 5 谱图包络线截取装置从谱图获取装置所获取的信号谱图中截取与敲击装置的敲击力频段相对应的谱图包络线。

损伤指示值计算装置根据所截取的谱图包络线来计算待测桥梁表面的每个位置处的损伤指示值，该损伤指示值反映了该位置处的谱图包络线与其他位置处的谱图包络线的相似程度。计算损伤指示值的方法可有多种，根据本发明的一个实施例，可如下述来计算损伤指示值：首先将截取的谱图包络线转换为谱图向量，此步骤可以通过获取谱图包络线中的多个频率处的幅值作为谱图向量的分量来进行转换。谱图向量的分量数量可以根据检测精度以及系统的处理性能等来确定。分量对应的频率可以均匀分布在谱图包络线的频段中，也可以不均匀分布，但是，对于待测桥梁而言，每个位置处的频段选择方式应该是相同的；之后，可以利用 MAC 系数来获取损伤指示值，MAC 系数矩阵的计算公式为：

$$MAC(i,j) = \frac{Y_i \cdot Y_j}{|Y_i| \times |Y_j|}$$

其中 Y_i 和 Y_j 分别表示在桥梁结构上的第 i 个和第 j 个部分的谱图向量， $Y_i \cdot Y_j$ 表示谱图向量的内积运算， $|Y_i|$ 和 $|Y_j|$ 表示向量 Y_i 和 Y_j 的长度。MAC 系数矩阵中的每个元素都表示了两个谱图向量之间的相似程度，其中对角线上的元素一定等于 1。MAC 系数矩阵的第 i 行或第 i 列元素的大小就能反映出对应于某个谱图向量 Y_i 的损伤情况，因而也就是该谱图向量 Y_i 所对应位置的损伤指示值。

25 损伤位置确定装置根据待测桥梁表面的每个位置处的损伤指示值来确定结构中的损伤位置。例如，损伤位置确定装置可以将损伤指示值发生突然下降的位置确定为存在损伤的位置，由于若没有结构损伤，那么损伤指示值的图形曲线应该会比较光滑的，如果曲线在某处出现突然下降，也就说明该处存在损伤，下降的幅度越大，损伤也就越严重。

经过信号处理装置的上述一系列的处理，即可得到桥梁损伤的信息，例如损伤的程度以及位置等等，关于更加详细的数据检测及处理内容和原理，在现有的相关专利中已有公开，不再过多赘述。

另外，本发明的检测系统可在不中断桥梁交通的情况下使用，因此需要设置信号分离模块和噪声过滤模块对检测信号进行处理，以提高信号的信噪比，得到理想的信号检测结果。

上述的敲击控制装置 22 和信号处理装置 4 可整合为一个计算机系统，而该计算机系统可整合到驱动装置 10 之中。

下面结合图 1 至图 3 来说明本发明敲击扫描式桥梁损伤检测系统的简单应用：由驱动装置 10 牵引移动小车 1 在待测桥梁上移动，同时，设置于移动小车 1 上的敲击装置 21 在敲击控制装置 22 的控制下对车身施加敲击载荷，敲击载荷的频率及大小均应符合预期，敲击载荷由小车车身、车轮传递而最终施加于待测桥梁，移动小车所走过的桥面，均受到敲击扫描。待测桥梁受到敲击载荷的同时，将作出反馈，产生如加速度、位移、速度等的响应信号，由于桥梁表面和移动小车的相互作用，该响应信号同样由小车进行传递，而最终由设置于小车上的信号拾取装置 31 采集获得，该响应信号的瞬时值大小等将可反映待测桥梁在敲击位置处的结构特征，本实施例中信号拾取装置为加速度传感器，则采集获得的响应信号为加速度频谱。由信号拾取装置 31 采集获得的桥梁响应信号最终被传送至信号处理装置 4，经过相应的信号过滤、信号转换、数据整理、数据换算等等，最终输出能够反应桥梁损伤信息的处理结果。本发明检测系统的整个检测过程只需要移动小车对待测桥梁扫描一遍即可获得检测信号，操作简单易行，效率高，检测精度高，成本低，不需要中断桥梁交通即可得到准确的检测结果，可实施性强，通过本发明的桥梁损伤检测系统，可方便快捷的掌握桥梁损伤情况，从而及时发现桥梁隐患，避免桥梁事故的发生。

应该注意的是上述实施例对本发明进行说明而不是对本发明进行限制，并且本领域技术人员在不脱离所附权利要求的范围的情况下可设计出替换实施例。在权利要求中，不应将位于括号之间的任何参考符号构造成对权利要求的限制。单词“包含”不排除存在未列在权利要求中的元件或步骤。位于元件之前的单词“一”或“一个”不排除存在多个这样的元件。本发明可以借助于包括有若干不同元件的硬件

以及借助于适当编程的计算机来实现。在列举了若干装置的单元权利要求中，这些装置中的若干个可以通过同一个硬件项来具体体现。单词第一、第二、以及第三等的使用不表示任何顺序。可将这些单词解释为名称。

- 5 此外，还应当注意，本说明书中使用的语言主要是为了可读性和教导的目的而选择的，而不是为了解释或者限定本发明的主题而选择的。因此，在不偏离所附权利要求书的范围和精神的情况下，对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。对于本发明的范围，对本发明所做的公开是说明性的，而非限制性的，本
- 10 发明的范围由所附权利要求书限定。

权 利 要 求

1、一种敲击扫描式桥梁损伤检测系统，包括：

移动小车，能够在待测桥梁上移动；

5 敲击子系统，设于所述移动小车，所述敲击子系统用于向待测桥梁施加敲击载荷；

信号采集子系统，设于所述移动小车，所述信号采集子系统用于采集待测桥梁传递到所述移动小车上的响应信号；

10 信号处理装置，连接所述信号采集子系统，接收所述信号采集系统所采集的信号并进行处理，输出桥梁损伤信息处理结果。

2、根据权利要求1所述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统，还包括一驱动装置，所述移动小车连接所述驱动装置，并由所述驱动装置驱动而在待测桥梁上移动。

15 3、根据权利要求1所述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统，其中，所述移动小车包括：

车身；

车轮，设置于所述车身，所述车轮为刚性轮盘且直接接触待测桥梁表面。

20 4、根据权利要求3所述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统，其中，所述车轮包括一个前车轮和两个后车轮，所述前车轮位于所述移动小车的纵向车身轴线上，两个所述后车轮对称地设于所述纵向车身轴线的两侧。

5、根据权利要求1至4任一项所述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统，其中，所述敲击子系统包括：

25 敲击装置，固设于所述移动小车上，所述敲击装置用于产生敲击载荷并施加于待测桥梁；

敲击控制装置，连接于所述敲击装置，用于控制所述敲击装置以产生预定的敲击载荷。

30 6、根据权利要求5所述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统，其中，所述敲击装置为激振器，所述激振器固设于所述移动小车的车身上，所述激振器产生的激振力作用于所述移动小车的车身，通过所述移动小车将敲击载荷传递到待测桥梁。

7、根据权利要求 5 所述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统，其中，所述信号采集子系统包括一个或者多个信号拾取装置，所述信号拾取装置设置于所述移动小车上，用于采集待测桥梁传递到所述移动小车上的响应信号。

5 8、根据权利要求 7 所述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统，其中，所述信号拾取装置为加速度传感器。

9、根据权利要求 8 所述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统，其中，所述加速度传感器设有一个，其设置于所述移动小车两个所述后车轮的通轴上。

10 10、根据权利要求 9 所述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统，其中，所述加速度传感器位于所述通轴的中间位置，所述敲击装置位于所述加速度传感器的正上方。

11、根据权利要求 5 所述的敲击扫描式桥梁损伤检测系统，其中，所述信号处理装置包括：

15 谱图获取装置，连接于所述信号拾取装置，用于对所述信号拾取装置检测到的信号进行变换处理，以获取在桥梁表面的每个位置处的信号谱图；

谱图包络线截取装置，用于从所述信号谱图中截取与所述敲击装置的敲击力频段相对应的谱图包络线；

20 损伤指示值计算装置，根据所述截取的谱图包络线来计算待测桥梁表面的每个位置处的损伤指示值；

损伤位置确定装置，根据待测桥梁表面的每个位置处的所述损伤指示值来确定结构中的损伤位置。

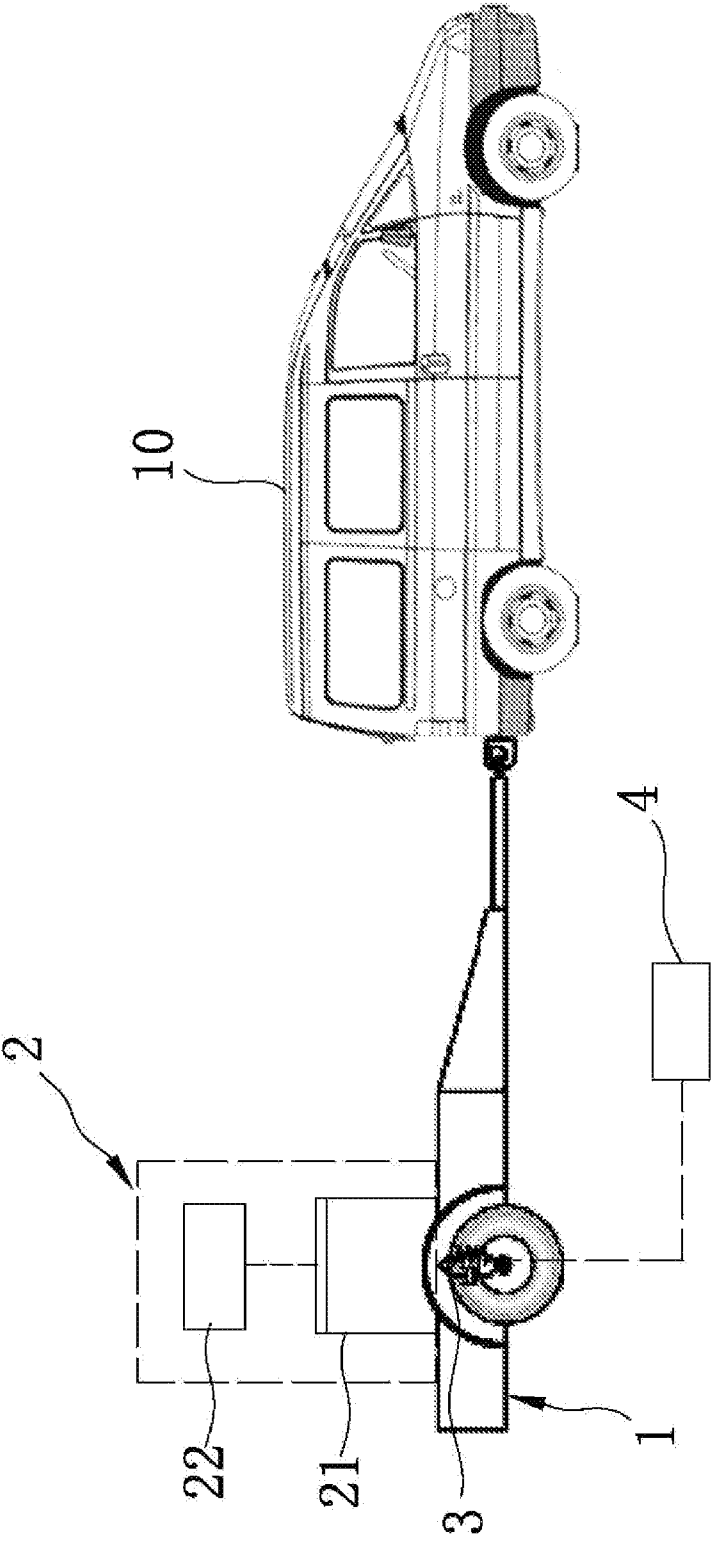


图 1

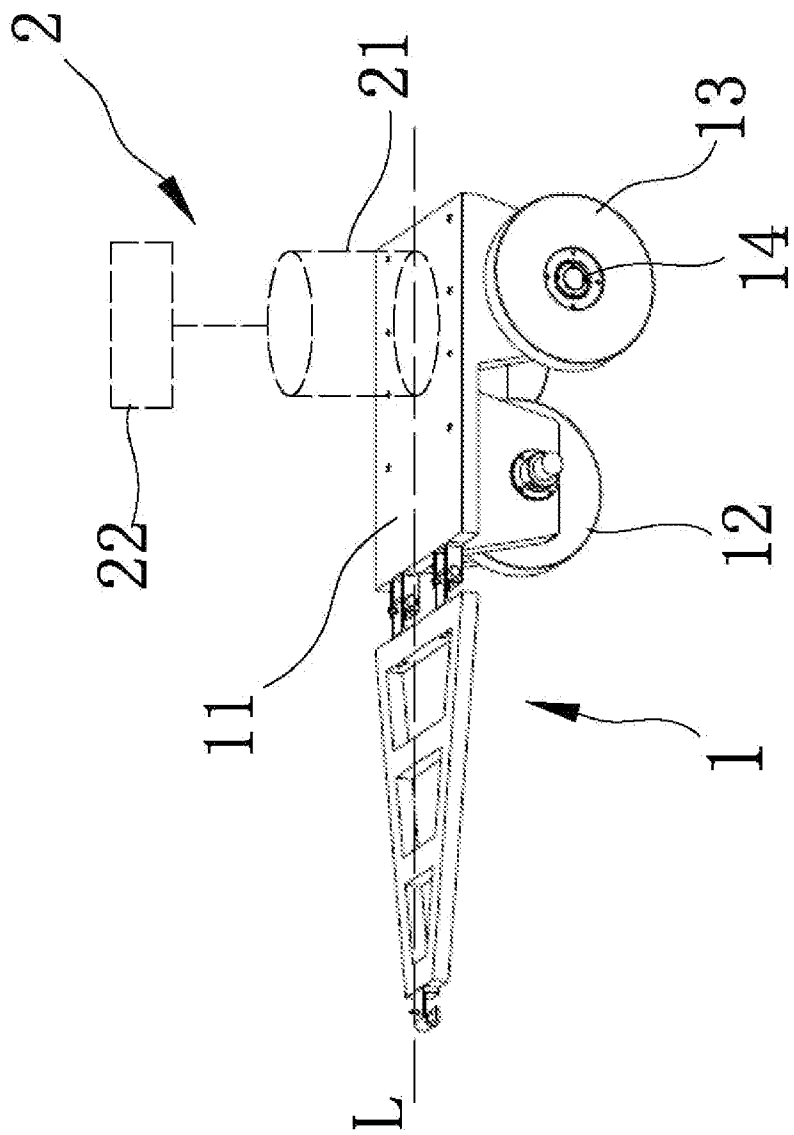


图 2

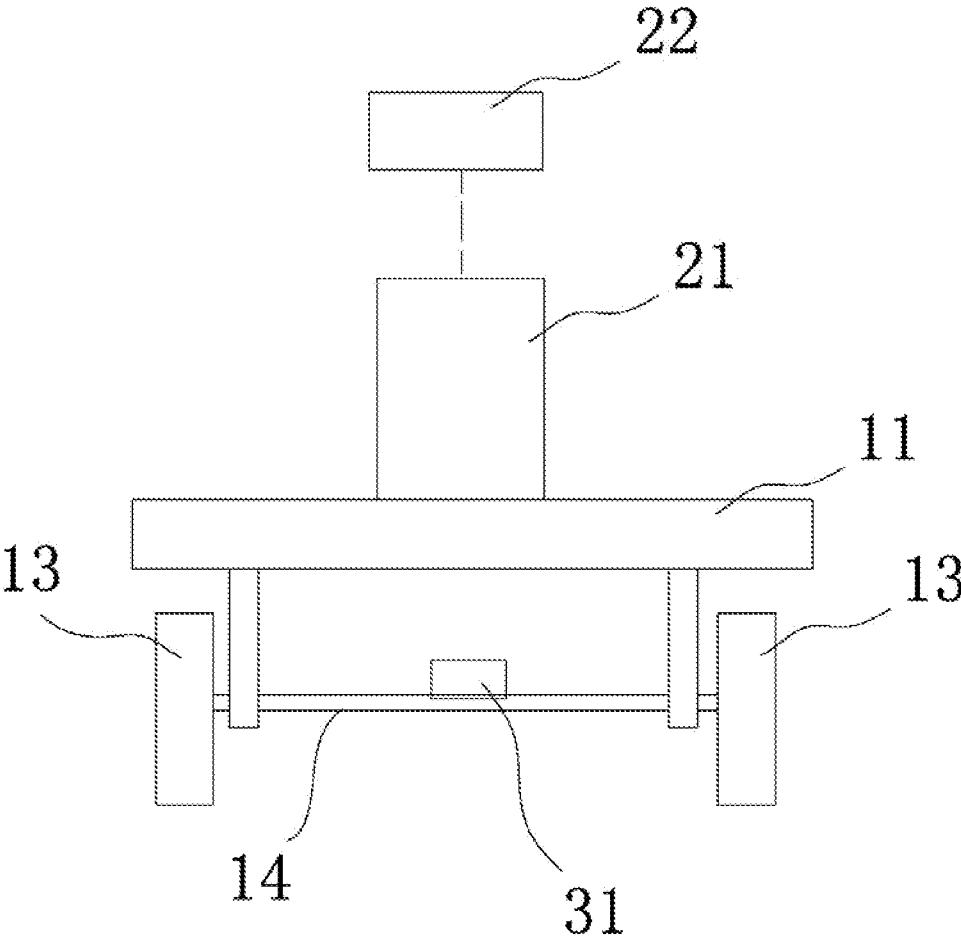


图 3

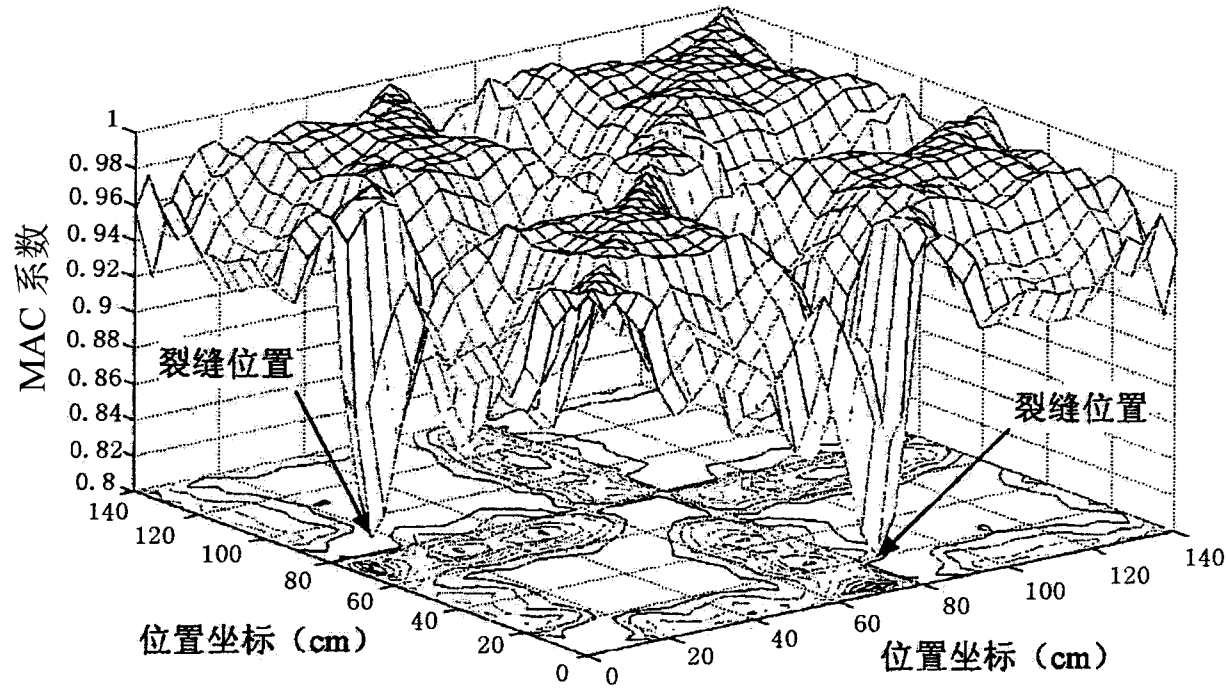


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2013/090702

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 29/04 (2006.01) 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: G01N 29; G01N 19

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, VEN, CNKI, Google: knock, bridge, scan+, vehicle, car, carriage

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	CN 103076393 A (CHINA ROAD & BRIDGE CORP et al.) 01 May 2013 (01.05.2013) claims 1-11	1-11
X	WO 2010130144 A1 (CHINA ROAD & BRIDGE CORP et al.) 18 November 2010 (18.11.2010) see description, page 5, lines 13-20, page 7, line 30 to page 9, line 7 and figures 2 and 3	1-11
X	XIANG, Zhihai, The tap-scan damage detection method for beam structures, Chinese journal of solid mechanics, October 2011, vol. 32, pages 225-228	1-11
A	JP 2006349628 A (RIK CO LTD et al.) 28 December 2006 (28.12.2006) the whole document	1-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 07 March 2014 (07.03.2014)	Date of mailing of the international search report 27 March 2014 (27.03.2014)
---	--

Name and mailing address of the ISA
State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao
Haidian District, Beijing 100088, China
Facsimile No. (86-10) 62019451

Authorized officer
ZHAO, Xiaoyu
Telephone No. (86-10) 62084132

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2013/090702

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103076393 A	01.05.2013	None	
WO 2010130144 A1	18.11.2010	CN 102422154 A	18.04.2012
		US 2012059600 A	08.03.2012
		CN 10561379 A	21.10.2009
		CN 10561379 B	29.06.2011
JP 2006349628 A	28.12.2006	JP 4565449 B	20.10.2010

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2013/090702

A. 主题的分类

G01N 29/04 (2006.01) 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: G01N 29, G01N 19

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, VEN, CNKI, Google 敲击、敲打、桥、扫描、车

knock, bridge, scan+, vehicle, car, carriage

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
P, X	CN 103076393 A (中国路桥工程有限责任公司等) 01.5 月 2013 (01.05.2013) 权利要求 1-11	1-11
X	WO 2010130144 A1 (中国路桥工程有限责任公司等) 18.11 月 2010 (18.11.2010) 参见说明书第 5 页, 第 13-20 行, 第 7 页, 第 30 行-第 9 页, 第 7 行以及 附图 2-3	1-11
X	向志海 敲击扫描式桥梁损伤检测方法, 固体力学学报 2011 年 10 月, 第 32 卷, 225-228 页;	1-11
A	JP 2006349628 A (RIK CO LTD 等) 28.12 月 2006 (28.12.2006) 全文	1-11

☐ 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

07.3 月 2014 (07.03.2014)

国际检索报告邮寄日期

27.3 月 2014 (27.03.2014)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:

中华人民共和国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088

传真号: (86-10)62019451

受权官员

赵晓宇

电话号码: (86-10) **62084132**

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2013/090702

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN 103076393 A	01.05.2013	无	
WO 2010130144 A1	18.11.2010	CN 102422154 A	18.04.2012
		US 2012059600 A	08.03.2012
		CN 10561379 A	21.10.2009
		CN 10561379 B	29.06.2011
JP 2006349628 A	28.12.2006	JP 4565449 B	20.10.2010