

基于地感线圈的车辆驶入检测电路设计及仿真

周亚,戴伟,张鑫,徐丽

(中科芯集成电路有限公司,江苏南京210000)

摘要: 交通物联网领域存在对道路车流信息监测的业务需求,将地感线圈布设于道路上可以感知车辆驶入的信息,为交通物联网提供初始数据。针对地感线圈工作场景,阐述了地感线圈工作原理。在此基础上,设计了一种基于地感线圈的车辆驶入检测信号的电路。该信号采集电路主要由调谐振荡电路、波形整形电路、微处理器等部分组成,介绍了各模块的设计要点。通过PSpice软件仿真表明该电路可有效采集地感线圈状态值变化,从而检测车辆驶入,在交通物联网领域具有较高的实用价值和应用前景。

关键词: 地感线圈;驶入检测;电路设计;PSpice软件仿真

中图分类号:U491.1+16

文献标识码:A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.212170

中文引用格式:周亚,戴伟,张鑫,等.基于地感线圈的车辆驶入检测电路设计及仿真[J].电子技术应用,2022,48(6):107-111.

英文引用格式:Zhou Ya,Dai Wei,Zhang Xin,et al. Design and simulation of vehicle entry detection circuit based on ground induction coil[J]. Application of Electronic Technique,2022,48(6):107-111.

Design and simulation of vehicle entry detection circuit based on ground induction coil

Zhou Ya,Dai Wei,Zhang Xin,Xu Li

(China Key System & Integrated Circuit Co.,Ltd.,Nanjing 210000,China)

Abstract: In the field of traffic Internet of Things, there is a business demand for road traffic flow information monitoring. The ground sensing coil is arranged on the road to sense the information of vehicles entering and provide initial data for the traffic Internet of Things. According to the working scene of ground induction coil, the working principle of ground induction coil is described. On this basis, a circuit of vehicle entry detection signal based on ground induction coil is designed. The signal acquisition circuit is mainly composed of tuning oscillation circuit, waveform shaping circuit and microprocessor. The design points of each module are introduced. PSpice software simulation shows that the circuit can effectively collect the state value change of ground sensing coil, so as to detect vehicle entry. It has high practical value and application prospect in the field of traffic Internet of Things.

Key words: ground induction coil;entry detection;circuit design;PSpice simulation

0 引言

随着互联网、云计算等技术的发展,物联网被广泛应用于交通行业^[1]。根据不同的应用场景,有各式各样的传感器来满足其应用需求。常见的交通物联网传感器包括射频识别类传感器、红外线感知类传感器、GNSS卫星定位类传感器^[2]、激光扫描类传感器以及地磁感应类传感器。其中,地感线圈由于成本低、检测精度较高、工程安装便捷等特点,具有较好的适用性^[3]。当前的研究多集中在以地感线圈作为传感器的系统级别研究,针对地感线圈信号采集电路设计不多。可采用微型地感线圈,用于为交通流量调查系统提供车流量数据^[4];同一车道布设两个地感线圈可以进行车辆车速的测量^[5]。可

以利用地感线圈作为基础信号感知的输入源,与交通信号灯进行联控,继而实现了交通信号灯的智能化控制^[6]。在交通治超领域,可以将地感线圈同称重传感器结合,作为动态称重(Weigh In Motion,WIM)系统的一部分,实现车辆的动态称重^[7]。

基于此,本文对地感线圈工作原理进行了分析,在此基础上进行地感线圈信号的采集电路设计,并通过PSpice软件仿真,对设计的电路进行了验证,可为交通物联网领域的应用起到参考与借鉴作用。

1 地感线圈工作原理

地感线圈是由导线绕成的线圈,结构示意图如图1所示。通常地感线圈选型采用1.0 mm的铜芯软导线^[8]。

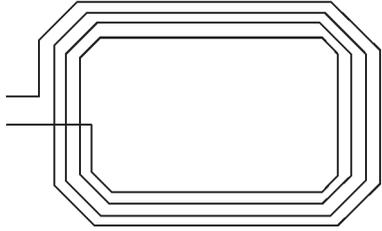


图1 地感线圈结构示意图

地感线圈处于通电状态时,在地感线圈周围会形成一个交变的电磁场,根据电磁感应原理,当有金属物体通过地感线圈产生的交变磁场时,会导致地感线圈的磁通量变化,产生感应电流,这种闭合回路电流也称之为涡流。

由电磁场理论可知,导线会在其周围产生磁场,对于 N 匝、长度为 S 的螺线管型线圈,其自感量计算^[9]如式(1)所示:

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{S} \quad (1)$$

式中, μ_r 为线圈介质的相对磁导率, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m, A 为线圈的环绕面积。

地感线圈在交通物联网的实际应用中,正是基于该理论。在路面埋设了地感线圈,当车辆经过时,车辆会和线圈发生磁感应,生成一个信号。由于车辆在线圈产生的磁场中自身产生涡流,该涡流产生的磁场与地感线圈产生的磁场极性相反,削弱了线圈原有磁场,导致线圈的电感量变小。实际应用中,通过检测地感线圈电感量数值的变化来判断有无车辆行驶经过。

2 电路设计

2.1 电路总体设计

地感线圈信号采集流程设计如图2所示。整个流程主要包括四部分:地感线圈、调谐振荡电路、波形整形电路、信号处理电路。

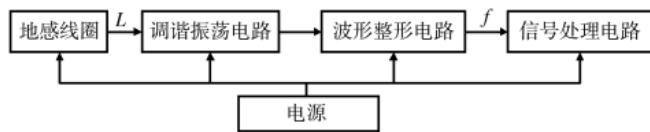


图2 地感线圈信号采集流程

当车辆经过地下埋设的线圈时,线圈产生一个电感量 L ,经过调谐振荡电路和波形整形电路处理得到频率为 f 的电压方波信号,最后经过微处理器进行处理。

地感线圈电感量初始值为 L_1 (无车辆驶入),频率为 f_1 ; 当有车辆驶入时,地感线圈电感量发生变化为 L_2 ,频率为 f_2 。通常 $L_1 > L_2$ 。将正弦波经波形整形电路后送入信号处理电路检测,通过比较 f_2 和初始值 f_1 ,判断有无车辆驶入。

2.2 关键电路原理图

2.2.1 调谐振荡电路

本文设计所采用的调谐振荡电路类型为电容三点

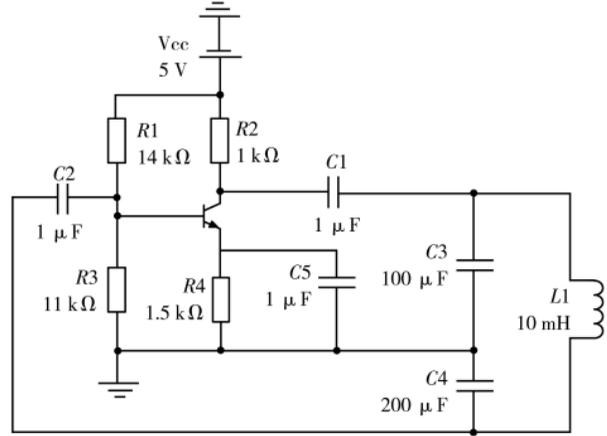


图3 LC 振荡电路原理图

式振荡电路(LC 振荡电路)。其电路原理图如图3所示。

电容三点式振荡电路是指两个电容的3个端分别与晶体管的3个极相连接,顾又称为电容反馈式振荡电路或 Colpitts 振荡电路(考毕兹振荡电路)。电容三点式振荡电路具有输出波形较好,振荡频率高等优点。图3中, L_1 是回路地感线圈, C_1 、 C_2 是耦合电容, C_3 、 C_4 是回路电容, C_5 是高频旁路电容。设计过程中,通常将高频旁路电容和耦合电容取值比回路电容大一个数量级以上。

对于一个具体的振荡电路,振幅的增大主要依赖于三极管的集电极静态电流,若该值设置太大,则三极管容易进入饱和状态,继而导致振荡波形失真,甚至引起振荡电路停振。设计过程中,一般 I_c 取值范围为 1 mA~4 mA。

为了改善输出波形和提高工作点的稳定性,在发射机上串接了电阻 R_e ,构成电流串联负反馈。正弦波振荡电路产生持续等幅振荡的必须满足振幅平衡条件及相位平衡条件,其中,振幅平衡条件公式为:

$$|A_v F_v| = 1 \quad (2)$$

其中, A_v 为放大电路增益, F_v 为反馈增益,

相位平衡条件为:

$$\Psi_a + \Psi_f = 2n\pi \quad (3)$$

反馈系数由式(4)计算可得。

$$F_v \approx \frac{C_3}{C_3 + C_4} \quad (4)$$

反馈系数为经验值,一般取 0.1~0.5,取值过小则不容易起振。

当电路同时满足振幅平衡条件与相位平衡条件时,电路就能起振。振荡频率为 f ,可由式(5)计算所得^[10]。

$$f \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (5)$$

其中,电容 C 由式(6)计算可得:

$$C \approx \frac{C_3 \times C_4}{C_3 + C_4} \quad (6)$$

考虑到 r_{ce} 和 r_{be} 的影响,实际振荡频率略高于计算所得数值。

2.2.2 波形整形电路

波形整形电路如图 4 所示。

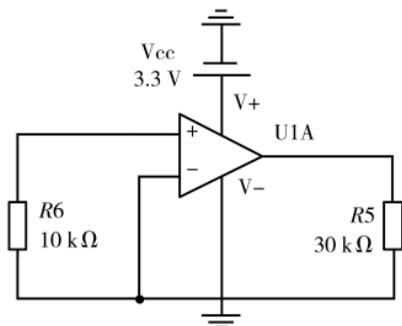


图 4 波形整形电路原理图

波形整形电路由一个电压比较器组成,当输入正弦波电压高于 0 V 时输出高电平,低于 0 V 时则输出低电平,将输出电压限幅在 0~3.3 V,从而将频率为 f 的正弦波整形为频率为 f 的方波,便于信号处理电路检测处理。

2.2.3 信号处理电路

信号处理电路主要是利用微处理器中的定时器的输入捕获功能,兼顾性价比,本设计微处理器选用 STM-32F103CBT6。STM32F103CBT6 是意法半导体(ST)公司的低功耗、低电压、高性能的 ARM 内核芯片,广泛应用于工业、医疗、消费行业等市场领域。

该芯片的关键参数如表 1 所示。

根据交通流量检测系统的功能及接口需求,保证系统具有较高抗干扰性能和工作可靠稳定,微处理器需集成 CAN 控制器,方便与其他模块通信,微处理器需集成通用定时器,作为输入捕获的使用,输入捕获模式可以用来测量脉冲宽度或者测量频率。

表 1 算法运行时间比较

参数内容	参数值
引脚数	64
RAM/KB	20
ROM/KB	128
CAN	1
16-bit timers	3
引脚数	64

假定定时器工作在向上计数模式,输入捕获测量高电平脉宽的原理如图 5 所示。

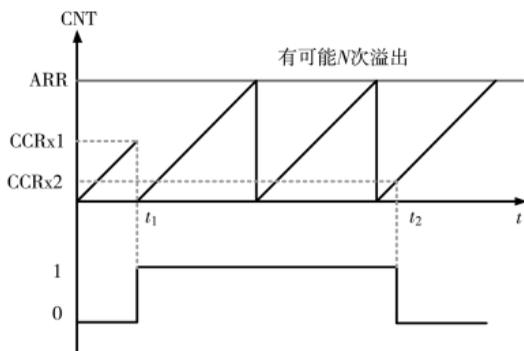


图 5 测量高电平脉宽原理图

图 5 中 $t_1 \sim t_2$ 时间表示实际所需测量的高电平时间。测量方法如下:首先设置定时器通道 x 为上升沿捕获,在 t_1 时刻,将会捕获到当前的 CNT 值,然后立即清零 CNT 值,并设置通道 x 为下降沿捕获。当进行到 t_2 时刻,再次发生捕获事件,得到此时的 CNT 值,记为 CCRx2。至此,根据定时器的计数频率,就可以算出 $t_1 \sim t_2$ 的持续时间,从而得到高电平脉宽,最终将脉冲高电平宽度时间转化为频率 f 。

3 仿真实验

PSpice 是 MicroSim 公司推出的一款 EDA 软件,具有精度高、实用性强、仿真效果好等优点,是世界著名的电路仿真标准之一。PSpice 具有强大的电路绘制功能、电路模拟仿真功能、图形后处理功能和元器件符号绘制功能,以图形方式,自动进行电路检查,模拟和计算电路。本文设计的仿真电路如图 6 所示。

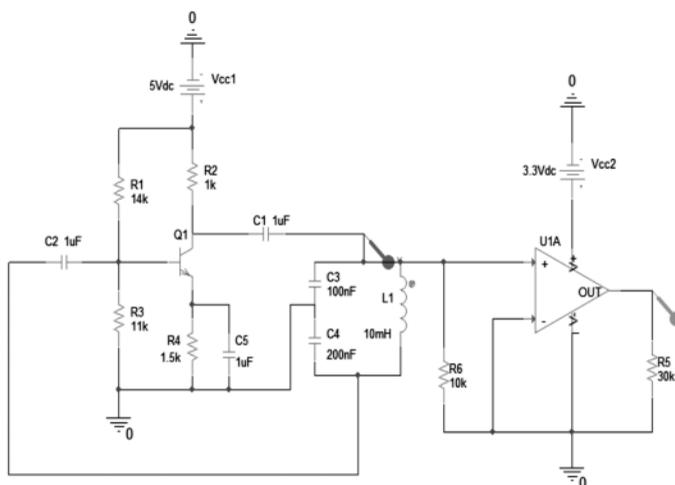


图 6 仿真电路图

图 6 中,由三极管 Q1 组成共射极振荡器,电阻 R4 是三极管的公共射极电阻,R1、R3 组成 Q1 基极偏置电阻,为三极管提供固定基极电压。其中 L1 外接地感线圈,形成等效电感 L,L 与并联的电容 C3 和 C4 形成振荡回路,LC 值决定了振荡频率。U1A 是电压比较器,起到波形整形的作用。

电感 L1 用于模拟电感线圈,模拟车辆通行经过线圈产生不同电感值的场景。

两次仿真的主要参数如表 2 所示。表 2 中,L 为输入参数,第一次仿真 L 设置为 30 mH(默认无车辆驶入

表 2 仿真参数

参数内容	第一次参数值	第二次参数值
L/mH	30	10
Analysis Type	Time Domain(Transient)	
Run To Time	7 ms(TSTOP)	
Start Saving Date After	5 ms	
Maximum Step Size	10 μs	

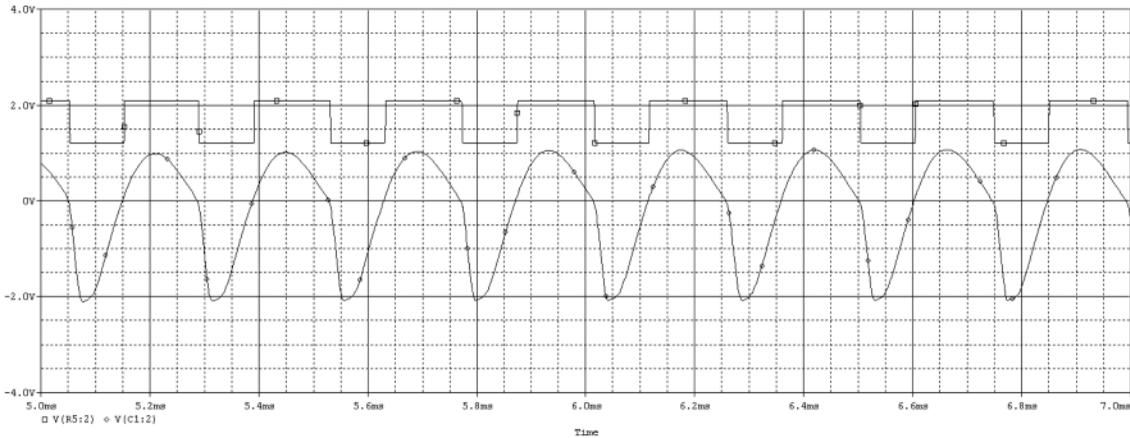


图7 30 mH 电感仿真结果

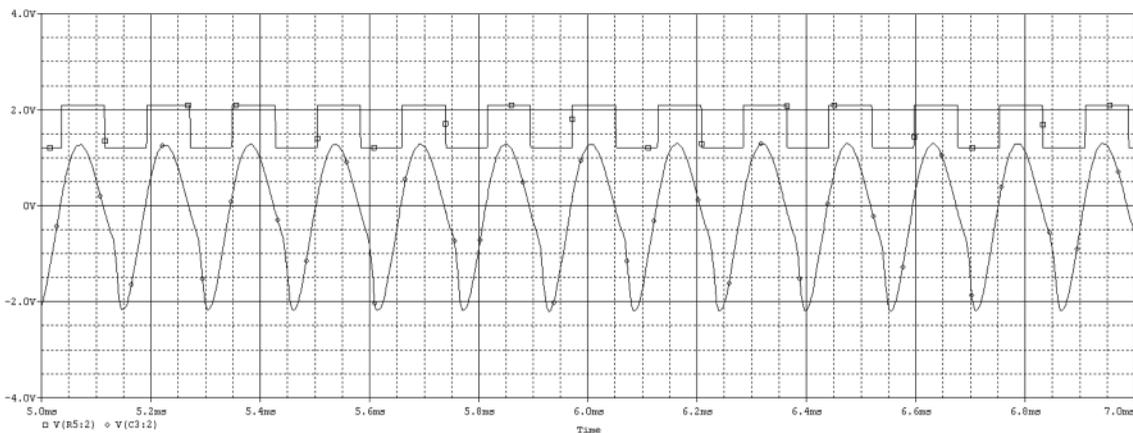


图8 10 mH 电感仿真结果

时电感初始值),第二次仿真 L 设置为 10 mH,以此模拟车辆经过地感线圈引起的线圈地感值。Analysis Type、Run To Time、Start Saving Date After、Maximum Step Size 为仿真参数。本文在仿真测试过程中,第一次仿真与第二次仿真除电感值以外,均采用相同仿真参数。

其中,第一次仿真结果如图 7 所示。采用 33 mH 作为输入电感值,则输出得到的方波频率约为 4.16 kHz。

第二次仿真结果如图 8 所示。当汽车驶入后,线圈电感值将会变小,因此采用 10 mH 作为输入电感值,则输出得到的方波频率约为 6.46 kHz。

综合上述仿真结果,对比图 7 和图 8,可以看出,通过改变输入的电感值 L ,经本文所设计的电路处理,输出的频率 f 是不相同的。通过和初始值频率 f 相比较,可判断有无车辆经过线圈。

4 结论

本文设计了基于地感线圈的车辆驶入检测电路,主要采用 STM32F103VBT6 微处理器芯片,设计了调谐振荡电路与波形整形电路。通过调谐振荡电路实现了电感到电压频率的转换,通过波形整形电路实现了标准的方波信号,最终实现了将线圈的地感信号转换成电压方波的频率信息。通过软件仿真,模拟验证了不同车辆行驶状

态导致线圈电感值变化的场景,结果得到了不同频率的输出信号,继而验证了本文所设计信号采集电路的正确性。本文设计的信号采集电路为线圈信号采集电路在交通物联网领域的应用提供了一种简单可行的设计方案。

参考文献

- [1] 邹敏.基于物联网的智能交通监控系统[D].西安:西安电子科技大学,2018.
- [2] 刘伟,黄瑞,冯澍畅.北斗高精度定位技术在智能交通中的应用[J].集成电路应用,2021,38(7):81-83.
- [3] 谭挺,王维锋,万剑,等.基于多路地感线圈的交通流量检测系统研究[J].华东交通大学学报,2017,34(2):60-65.
- [4] 童亮,李隐,谷云秋,等.基于微型地感线圈检测器在交通流量调查系统中的研究与应用[J].公路交通科技(应用技术版),2015,11(4):271-272.
- [5] 宋玉贵,王永,辛彬,等.一种测速用差分线圈传感器及其性能研究[J].仪器仪表学报,2020,41(12):95-102.
- [6] 田力波,贾睿.城市轻轨交通信号灯自动控制仿真研究[J].计算机仿真,2009,28(6):115-118.
- [7] 李占峰,吴庆雄,陈康明.基于 WIM 系统的重载车辆模型及其荷载效应分析[J].公路,2019,64(2):147-155.
- [8] 杨磊,董建红.地感线圈测速系统原理与检定方法的研究[J].工业计量,2011,21(S2):167-168,172.

- [9] 王豪, 纪少波, 刘振革, 等. 高速行驶车辆位置信息快速检测系统设计[J]. 测控技术, 2019, 38(8): 84-88.
- [10] 沈健. 一种基于 PIC18F45 芯片车辆检测系统设计[J]. 电子技术, 2018, 47(10): 76-77, 69.

(收稿日期: 2021-09-18)

作者简介:

周亚(1990-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 硬件电

路设计。

戴伟(1990-), 通信作者, 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 物联网应用, E-mail: daiwei@cetc-iot.com。

张鑫(1994-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 硬件电路设计。



扫码下载电子文档

(上接第 102 页)

- 派的内核系统启动[J]. 现代信息科技, 2018, 2(12): 29-34.
- [2] 任礼虎. 一种基于龙芯 2K1000 的 COM-E 功能主板产品设计方法[J]. 电子技术, 2018, 47(4): 46-47.
- [3] 齐刚. 龙芯拟发布多款芯片——国产唯一支持多路互联的“中国芯”诞生[J]. 计算机与网络, 2017, 43(9): 24-25.
- [4] 钱家乐. 计算机操作系统的应用与发展分析[J]. 无线互联科技, 2015(19): 95-96.
- [5] 俞冠中, 王巍, 刘玉升. 基于状态机的 AI/AO 模块 HART 通信软件实现方法[J]. 测控技术, 2020, 39(11): 106-112.
- [6] 王巍, 俞冠中, 靳子洋. 基于 Cortex-M 的嵌入式设备固件更新方法研究[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2021, 21(6): 69-73.
- [7] 徐海亚, 赵增基, 朱波, 等. 基于中标麒麟的 POWERLINK 节点实时性解决方法[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(5): 164-167.
- [8] 刘剑, 仲宇, 王琦. 嵌入式 Linux 实时性改造技术综述[J]. 航天控制, 2018, 36(2): 93-97.
- [9] 赵旭, 夏靖波, 王哲. Linux 内核进程调度的研究与改进[J]. 测控技术, 2009, 28(Z1): 65-67.
- [10] 王朴, 周晴. 基于龙芯 1E 的嵌入式 Linux 实时性的优化与可靠性设计[J]. 微电子学与计算机, 2019, 36(11): 17-21.
- [11] 王娜, 李彦峰, 孙菲艳, 等. Linux 中断线程化分析及中断延时测试[J]. 智能计算机与应用, 2018, 8(6): 20-23, 27.

- [12] 袁辉建, 陈曾汉, 晏来成. 基于 ARM9 的嵌入式 Linux 测控系统实时性增强研究[J]. 测控技术, 2007(1): 61-63.
- [13] 刘宇帅, 苏宇, 王金波, 等. 航天嵌入式 Linux 实时性能优化研究[J]. 航天控制, 2018, 36(3): 57-62, 78.
- [14] 张晓龙, 郭锐锋, 陶耀东, 等. Linux 实时抢占补丁研究及实时性能测试[J]. 计算机工程, 2014, 40(10): 304-307.
- [15] 王帅华, 杨东升, 王允森, 等. 基于 ARM 的 Linux 实时抢占补丁的研究与实现[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2015(9): 1-4.
- [16] 张帆, 求伟, 韩大鹏. Linux 在嵌入式实时系统的研究与改进[J]. 制造业自动化, 2011, 33(3): 87-89.

(收稿日期: 2021-12-11)

作者简介:

俞冠中(1989-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 智能通信网络与信息处理、计算机网络与系统安全、云计算与物联网安全、操作系统及虚拟化技术、分布式计算机控制技术。

韦雄(1989-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 智能通信网络与信息处理、计算机网络与系统安全、云计算与物联网安全、操作系统及虚拟化技术、分布式计算机控制技术。

史旭明(1972-), 通信作者, 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要研究方向: 智能通信网络与信息处理、计算机网络与系统安全、云计算与物联网安全、操作系统及虚拟化技术、分布式计算机控制技术, E-mail: shixuming@snpas.com.cn。



扫码下载电子文档

(上接第 106 页)

- tional Geometry: Towards Geometric Engineering. Berlin: Springer, 1996: 741-778.
- [6] RENKA R. Algorithm 772: STRIPACK: Delaunay triangulation and Voronoi diagram on the surface of a sphere[J]. ACM Transactions on Mathematical Software, 1997, 23: 416-434.

(收稿日期: 2022-01-28)

作者简介:

刘壮(1988-), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向: 高性能计算。

黄小猛(1980-), 通信作者, 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 海洋模式、并行计算与大数据, E-mail: hxm@tsinghua.edu.cn。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所