

车用扭振减振器性能检测试验台

李 杰¹, 俞小莉^{1*}, 张鹏伟^{1,2}, 刘海军^{1,2}

(1. 浙江大学 能源工程学系, 浙江 杭州 310027; 2. 潍柴动力股份有限公司, 山东 潍坊 261001)

摘要: 为解决车用扭振减振器与发动机匹配实验危险系数较高的问题, 基于虚拟仪器技术开发了一套车用扭振减振器性能检测试验台。试验台控制系统模拟车用发动机产生扭转振动, 通过变频器及变频电机实现了扭振激励的转速、频率及振幅可调。信号采集系统由多路磁电传感器及 NI-DAQ 采集设备组成。试验台采用高频计数原理, 记录测速齿盘旋转过程中每一齿对应的脉冲个数, 根据脉冲个数计算瞬时转速及角速度波动, 对多路传感器信号初始时刻进行标定调整, 得到相对扭角参数。整个系统的信号采集控制及数据计算处理由基于图形化编程语言 LabVIEW 开发的应用程序完成。对加装某减振器后的试验台进行了试验, 其结果表明该试验系统能够进行较精确的扭振减振器性能匹配测试, 可有效降低扭振减振器实车检测的危险, 提高检测效率。

关键词: 扭振减振器; 虚拟仪器; LabVIEW; 性能测试试验台

中图分类号: TK422; TH877

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)12-1430-05

Torsional vibration test system based on virtual instrument

LI Jie¹, YU Xiao-li¹, ZHANG Peng-wei^{1,2}, LIU Hai-jun^{1,2}

(1. The Department of Energy Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Weichai Power Co.Ltd., Weifang 261001, China)

Abstract: In order to solve the high risk problem when doing match test between torsional vibration damper and real engine, a new torsional vibration damper test system was developed based on virtual instrument. The control part of the system simulated torsional vibration in automobile, the rotate speed, frequency and amplitude of the torsional vibration exciting device can be changed through frequency converter and variable frequency motor. The signal acquisition part was composed of multiply sensor and NI-DAQ equipment. A high frequency crystal oscillator was employed to produce pulses, the counters recorded the pulses of fluted disc, according to the pulse number, the rotate speed, torsional angel can be figured out. Both the control part and calculate part were finished by software based on LabVIEW. The experiment was carried out with some torsional vibration damper. The experiment result proves that the system can test the match performance between the damper and the engine, and this will reduce the danger of testing on real cars and improve the testing efficiency.

Key words: torsional vibration damper; virtual instrument; LabVIEW; performance test bench

0 引 言

扭转振动是旋转机械轴系一种常见的振动形式。扭转振动的幅值较小, 信号微弱, 信号中混杂有横向振动、耦合振动以及未知信号的干扰, 因此对扭振信号的提取和分析有一定的难度。

国内扭振减振器的生产能力很强, 但限于测试技术和计算难度及减振器本身结构的复杂性, 扭振减振

器的性能参数一般比较模糊。检测减振器与发动机是否匹配一般进行装机试验, 这使得试验具有盲目性并存在危险。

完成减振器性能测试的基础是扭转振动的模拟和测试。国内完整的扭振测试系统并不多见, 文献[1]采用发动机作为测试系统激励源, 以单片机为基础进行信号采集, 通过对硬件系统的对比性研究, 提出了一系列提高系统的测试精度及稳定性的措施, 软件分

收稿日期: 2011-06-29

作者简介: 李 杰(1985-), 男, 甘肃嘉峪关人, 主要从事发动机及车辆零部件可靠性方面的研究. E-mail: desertlijie@yahoo.com.cn

通信联系人: 俞小莉, 女, 教授, 博士生导师. E-mail: yuxl@zju.edu.cn

析部分由 C++ 模块化设计,采用数字算法抑制影响精度的因素,并完成了转速等参数的图形化显示。文献[2]采用扭振电机和变频电源组成测试系统的激励源,模拟内燃机轴系的扭振状况,其轴系的转速、自振频率、激励的幅值、频率均为无极变化,适用于大范围复杂轴系的扭振测量。文献[3]转子扭振测试系统基于虚拟仪器技术,采用已有高性能数据采集产品,并基于图形化编程语言 LabVIEW 开发了其扭振测试程序。

本研究提出一种基于虚拟仪器的扭振测试系统,在低成本的前提下满足测试范围大,测试精度较高的要求,用于检测扭振减振器匹配性能,也可用于扭振减振器性能参数的测定等。

1 试验台整体组成

扭振减振器性能测试台总体结构示意图如图 1 所示。

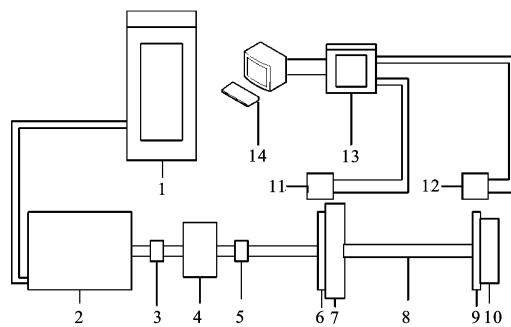


图1 扭振测试系统总体组成

1—控制柜;2—变频电机;3—弹性联轴节;4—扭振激励装置;5—联轴节;6—测量齿盘1;7—可调惯性飞轮;8—主轴;9—测量齿盘2;10—减振器;11—磁电传感器;12—磁电传感器;13—NI-PXI6250 采集系统;14—计算机

测试台架由扭振控制系统、信号采集系统和应用测试软件 3 部分组成。控制系统由控制柜、变频电机、扭振激励装置、惯量可调飞轮组成。信号采集系统由测速齿盘、磁电传感器、NI-PXI6250 信号采集卡、NI-PXI1033 采集机箱组成。应用测试程序采用美国国家仪器公司图形化编程软件 LabVIEW 开发。

2 扭振控制系统

扭振控制部分用于产生扭振激励及惯量的调整。激励部分应隔离外界振动及干扰,产生稳定的激励,便于传感器的安装及信号的采集。综合各种因素下,本研究所涉及的实物试验台如图 2 所示。

扭振控制系统的核心为扭振激励器,国外先进的扭振激励设备采用伺服电机,通过其高频变极性能激起扭转振动,成本昂贵。国内有采用不平衡齿轮的偏

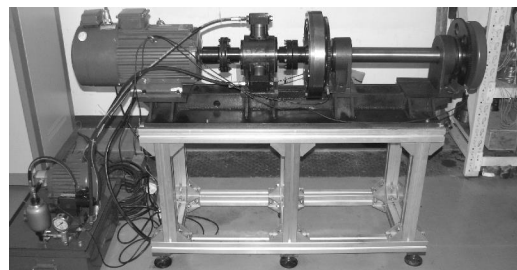


图2 扭振实验台实物图

心质量旋转产生的离心力的方法激起扭转振动,但其安装精度要求很高^[4-7]。该试验台采用浙江大学专利《扭振减振器性能测试台激励方法及激励器》,利用凸轮轴转动过程中,周期性的受到液压柱塞泵施加于凸轮上的压力来产生激励力矩。激励装置如图 3 所示。

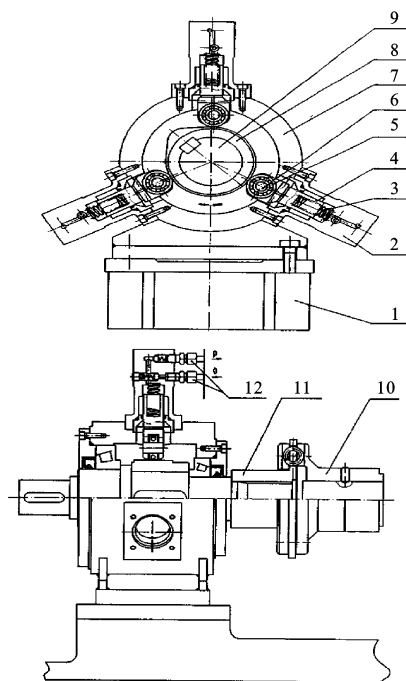


图3 扭振激励装置简图

1—机体;2—柱塞泵体;3—压簧;4—柱塞;5—单列向心球轴承;6—圆柱销;7—激励器壳体;8—凸轮;9—激励器转轴;10—弹性联轴器盘;11—弹性联轴器盘;12—液压油管接头

3 扭振信号采集系统

信号采集系统采用高频计数法非接触式测量。磁电传感器及 pxi-6250 采集卡内部 20 MHz 晶振分别提供低频及高频信号。具有信号初步处理功能的高速磁电传感器安装在如图 1 所示的位置 6 测量齿盘 1,位置 9 测量齿盘 2 处,测量齿盘每一齿经过磁电传感器时产生信号,传感器将其调理为方波;同时由 PXI-6250 信号采集箱提供的高频晶振产生均匀的脉冲方波,将传感器得到的方波信号上升沿作为触发,利用 PXI-6250 采集卡上计数器通道统计相邻触发时间内

高频脉冲的个数,此个数存放于计算机缓存之中,保证其高速采集的连续性。计数的原理如图 4 所示。

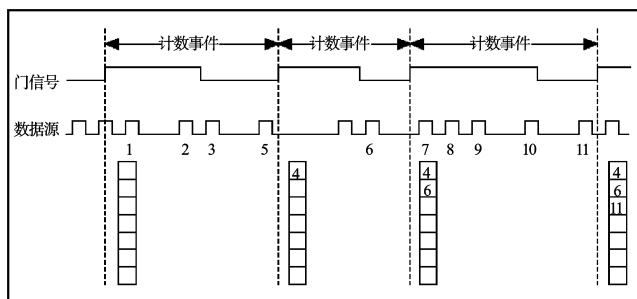


图 4 带缓存的计数器计数原理

以 20 MHz 晶振频率为例,相邻触发所用的时间由下式计算:

$$t = (n_i - n_{i-1}) / 2e^7 \quad (1)$$

式中: t —相邻触发所用时间, n_i —至第 i 次触发累计晶振数目。

数据经过计算即可得到每个飞轮轮齿转过传感器所需的时间。该系统在综合考虑计数器存储能力及量化相对误差的基础上,选取测量齿盘数目为 120。在高速运转的轴系系统中,用每个齿所求出的平均速度表示一段极短时间内的瞬时速度,满足计算及工程误差的要求。这种瞬态信号测量方法对信号的适应性好,抗干扰能力也比较强,其测量精度随计数频率和相应电路处理速度的提高而提高。

系统中所采用的高频脉冲由 NI-6250 自身提供,并有 100 kHz, 80 MHz, 20 MHz 等频率可供选择。NI-6250 采用 NI-STC 芯片,计数器寄存器有 32 位,计数器可记录的计数上限由下式计算:

$$2^{32} - 1 = 4\,294\,967\,296 \quad (1)$$

NI-6250 有 2 个计数器通道,满足了主轴左右 2 个传感器同时采集的需要。由于两侧齿盘安装时不可能完全重合,所得数据需进行初始时刻标定,处理后即可以保证扭转振动发生的同时性和实时性。

4 扭振应用测试程序

虚拟仪器是基于计算机的软、硬件测试平台,是当代计算机技术、测试仪器、信号处理手段不断发展而产生的新技术,其充分利用了计算机的强大数据处理功能,使得数字化多功能测试分析成为可能。

基于 LabVIEW 开发的应用测试程序具有计算机本身的数值计算能力、图形文字处理能力、人机友好交互能力、数据库存储能力等。应用测试程序由以下 4 部分组成:信号采集部分进行软硬件相关参数的设置,信号处理部分进行初始位置平移,相同值处理等数据预处理,信号分析部分进行时域上瞬时速度、平均速度、

相对扭转角分析与频域上谱分析等操作,数据操作部分能够对所得结果进行存储,生成报表及画图^[8-12]。

5 实验结果分析

5.1 性能测试台简化

在图 1 所示的整体结构中,由于弹性联轴节具有很大的柔度,左侧的激励装置和变频电机对整体台架的固有模态影响较小。系统可简化为典型双质量盘轴系统,简化系统去除了影响整体试验台架固有属性很小的附加部分,有助于测试结果的分析及直观理解。

对扭振减振器性能参数试验台的检验从低转速至高转速依次进行,为更明显地体现测试系统精度及灵敏度,本研究以激振装置液压压力 2 MPa,转速为 800 r/min 时对某合格减振器测试结果进行说明。

5.2 角速度变化曲线

简化的双质量盘轴系统测速齿盘 1 和测速齿盘 2 处的磁电传感器分别检测左侧减振器及右侧飞轮处的信号。扭振测试系统首先求出轴系在以平均速度旋转过程中是来回扭动的。如图 5、图 6 所示。

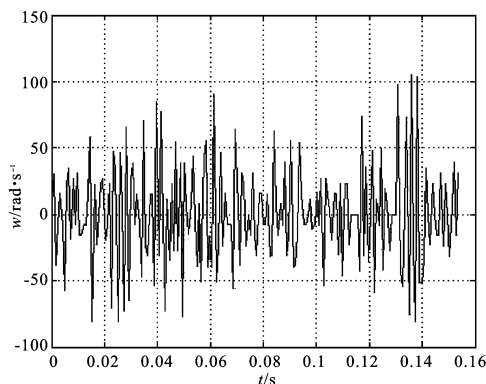


图 5 测量齿盘 1 处角速度波动(800 r/min)

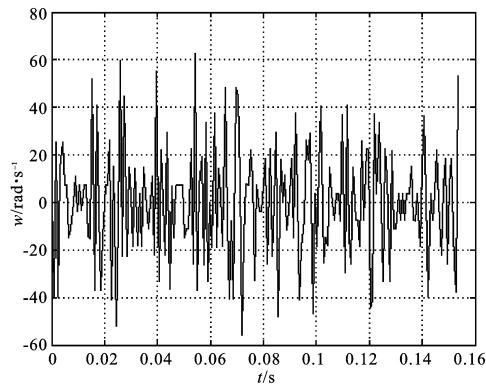


图 6 测量齿盘 2 处角速度波动(800 r/min)

当测试系统以某一转速匀速运动时,其所需要的时间由下式计算:

$$t = \frac{1}{(n/60) \times z} \quad (3)$$

式中: n —转速, r/min ; z —齿数, $z=120$; t —匀速旋转一齿所需时间。

如图5所示的转速波动峰值为 105 rad/s , 由式(3)可得 $t=1/1\ 600=0.006\ 25 \text{ s}$, 在此时间间隔内, 角速度波动对应的最大值为 $0.065\ 625^\circ$, 该数据可作为精确计算扭转角的数量级参照。

5.3 扭转角变化曲线

每一齿对应的时间间隔均可由储存的脉冲数目准确求出, 因而每一齿对应的扭角幅值可以根据角速度波动及时间间隔准确求出, 如图7、图8所示。

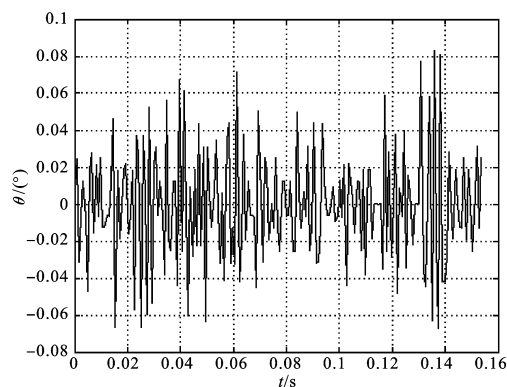


图7 测量齿盘1处扭角幅值变化曲线

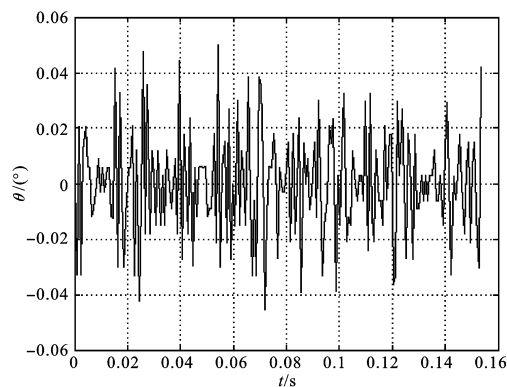


图8 测量齿盘2处扭角幅值变化曲线

由图7可以看出, 每一齿对应扭角的幅值峰值为 0.082° , 与预期无波动时 $0.065\ 625^\circ$ 扭角数量级一致。

5.4 相对扭振角振幅变化曲线

在扭振计算的过程中, 需要克服整个轴系向前或向后共同扭转的影响。

由图4所述的计数器原理可知, 计数器缓存中储存的方波脉冲数目为积累值, 第2项减去第1项为第2齿齿对应的实际脉冲数, 依此类推可得到每一齿的脉冲数; 由于测速齿盘1初始位置和测速齿盘2不可能从同一个位置同时开始, 存储的第1个脉冲数据为传感器对应的不完整齿转过的时间, 因此要对初始时刻进行标定来保证其同时性, 初始时刻标定示意图如图9所示, t_1, t_2 分别表示进入完整齿前根据第1个不

完整齿储存数据计算对应的时间。为保证扭角幅值的同步开始, 去除角速度波动中 t_2 之前的数据, 使两个测量齿盘处的转速波动均从 t_2 时刻开始。

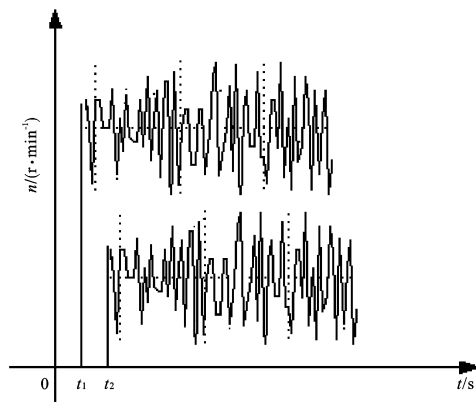


图9 初始时刻标定示意图

本研究选取同时开始的时间后, 相对扭角幅值即可通过做差去除共同的扭角, 相对扭转角振幅变化曲线如图10所示。

如图10所示的扭角变化曲线峰值为 0.1° , 曲线的

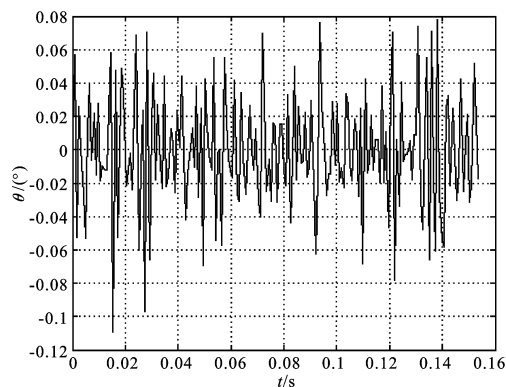


图10 相对扭振角振幅变化曲线

波形形状呈现周期变化的趋势, 这与扭振峰值出现的规律一致。

在 800 r/min 转速下, 本研究进行了多组测量, 相对扭振角振幅变化曲线如图11所示, 得到的扭角幅值基本一致。

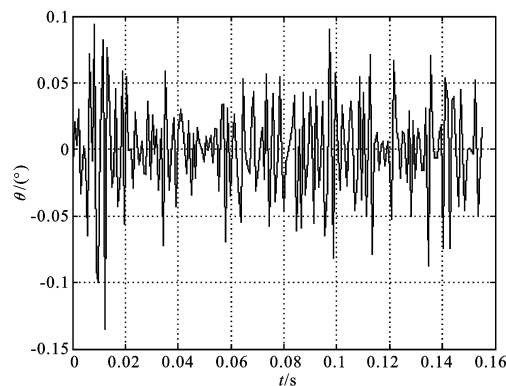


图11 相对扭振角振幅变化曲线

6 结束语

基于虚拟技术和测试手段的不断发展,本研究提出一种扭振减振器性能检测试验台,通过高性能的传感器及信号采集装置,对扭振激励装置的输出进行测量;系统的控制及分析基于 LabVIEW 的图形化语言开发。本研究采用高频计数法采集测速齿盘单个齿经过传感器时的高频脉冲数目,提高瞬时转速的测量精度,通过两侧测速齿盘的初始脉冲数目对测速齿盘初始位置进行标定,保证相对扭角的同时性。本研究在 800 r/min 转速下进行了多次测量,分析结果表明台架具有较高的分辨率,能够满足扭转振动的测试需求。通过实验台架地测试,大大减低了车载减振器实验的危险,也极大地提高了检测的效率。工程应用中,该试验台不仅可用于检测减振器的匹配性能,也可利用此台架测试扭振减振器的性能参数,具有实际的应用价值。

参考文献(References):

- [1] 李松和. 内燃机曲轴轴系扭振数字化测试系统[D]. 杭州:浙江大学机械工程学系,2005:21-52.
- [2] 郝志勇,黎家玲,薛 远,等. 内燃机轴系扭振模拟装置的研究与应用[J]. 内燃机工程,1991,12(1):74-79.

- [3] 张晓玲,沈韶华,谷文港. 基于虚拟仪器的转子扭振特性测试系统研究[J]. 机械设计与研究,2007,10(23):77-79.
- [4] 李渤仲,陈之炎,应启光. 内燃机轴系扭转振动[M]. 北京:国防工业出版社,1984.
- [5] 夏用源,张阿舟. 机械振动问题的计算机解法[M]. 北京:国防工业出版社,1993.
- [6] 程耀东. 机械振动学[M]. 杭州:浙江大学出版社,1999.
- [7] 何渝生,沈鹤千. 测量硅油减振器阻尼的共振法[J]. 重庆大学学报,1980,2(1):64-78.
- [8] ZHANG X, YU S D. Torsional vibration of the crankshaft in an engine-propeller nonlinear dynamical system [J]. **Journal of Sound and Vibration**, 2009, 319(1-2):491-514.
- [9] LEE B, RIZZONI G, GUEZENNEC Y, et al. Engine control using torque estimation[N]. SAE Technical Paper Series, 2001-01-0995, 2001.
- [10] 陈小梅. 基于磁流度原理的汽车减振器控制系统研究[J]. 机电技术, 2010(4):20-23.
- [11] STMAN F, TOIVONEN H T. Active torsional vibration control of reciprocating engines [J]. **Control Engineering Practice**, 2008, 16(1): 78-88.
- [12] SCHMIDT M, KIMMICH F, STRAKY H, et al. Combustion supervision by evaluating the crankshaft speed and acceleration [N]. SAE Technical Paper Series, 2000-01-0558, 2000.

[编辑:张 翔]

(上接第 1425 页)

数据量为 16 B。本研究在实验室中对蓝牙四轮定位系统进行了测试,定位系统与主模块相距约 10 m,中间有电脑和桌椅等障碍物。测试通过 VB 编写的串口测试工具完成,波特率为 115.2 k。测试工具指令发送窗口中写入指令,主模块将指令发送至 4 个从端,从端的回传数据显示在调试工具的数据接收窗口,其过程如图 5 所示。1#~4# 后显示的数据分别表示 4 个测量从端的回传数据。由此可见,回传数据正确有效。

4 结束语

本研究提出的基于蓝牙协议的 SPP 多服务方法是可行的。所设计的蓝牙模块在单包数据小于 5 K 时,不同波特率条件下均可正确收发数据。系统测试结果表明,蓝牙模块完全满足汽车四轮定位仪的使用要求,并可用于其他类似的无线传感网络,具有一定的实用价值。

参考文献(References):

- [1] SOO-HWAN C, BYUNG-KUG K, JINWOO P, et al. An implementation of wireless sensor network[J]. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, 2004, 50(1):236-244.

- [2] 盛贺斌. Aml 环境下基于蓝牙的感知网络及其协议设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院, 2008.
- [3] 钱志鸿,杨 帆,周求湛. 蓝牙技术原理、开发与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- [4] 李志军,张智勇,刘付刚. 基于蓝牙技术的汽车四轮定位系统无线化设计 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2010(4):77-79.
- [5] 孙炎森. 基于蓝牙标准的点到多点音视频传输技术的研究与设计[D]. 北京:北京工业大学计算机学院, 2009.
- [6] 施 荣. 嵌入式无线传输协议及其在 iHome 系统中应用的研究[D]. 南京:东南大学信息科学与工程学院, 2004.
- [7] 李 宏,谢 政,徐志辉,等. 基于蓝牙开发平台的无线通信课程设计的拓展与实践 [J]. 电气电子教学学报, 2006, 28(5):4-7.
- [8] Specification of the Bluetooth System:Bluetooth Specification Version 2.0 + EDR[S]. Bluetooth SIG, 2004.
- [9] Bluetooth Specification Version 1.1 Part K:5:Serial Port Profile[S]. Bluetooth SIG, 2001.
- [10] Cambridge Silicon Radio Ltd. BlueCore4-External Product Data Sheet book [EB/OL]. [2005-07-27]. http://d.download.csdn.net/download/1663838/windy_vivian.

[编辑:罗向阳]