

一种电动车专家自诊断方法及系统

章军辉 李 庆 陈大鹏

(中国科学院微电子研究所 北京 100029) (中科院微电子研究所昆山分所 昆山 215347)

摘 要 跨界与融合,用互联网思维提升传统行业,将会为传统行业开辟新的局面,而未来的汽车将是电子信息、软件主导的新能源智慧车辆。传统的 OBD(On-Board Diagnostics)方案仍需要工程师来判断和分析问题,无法满足用户对智能化的需求。本方案借助车联网技术、数据库平台、数据挖掘与分析技术,最终实现了汽车 CAN(Controller Area Network)总线故障智能化自诊断,可替代工程师快速定位出问题的根源,极大地减少了人力成本与时间成本。其还可对故障进行统计与归类,为工程师评估节点设备的可靠性、稳定性、抗干扰能力以及设备工作最适宜的环境需求等提供指导依据。基于本方案的产品已被投入到实际的工程应用中。

关键词 车联网技术,数据挖掘,新能源汽车,人工智能

中图法分类号 TP277 文献标识码 A

Implementation Method and System for EV Self-diagnosis

ZHANG Jun-hui LI Qing CHEN Da-peng

(Institute of Microelectronics of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

(Kunshan Department, Institute of Microelectronics of Chinese Academy of Sciences, Kunshan 215347, China)

Abstract In the future, vehicles will be highly intelligent, informative and automotive green cars. Traditional OBD(On Board Diagnostics) solutions need to be analyzed by engineer themselves, which waste huge manpower and time. Our solution, by means of internet of vehicles technology, database and data mining, finally realizes the intelligent self-diagnosis of vehicle CAN (Controller Area Network). Also it supports statistics and classification, which makes engineers easily evaluate node equipment reliability, stability and anti-interference ability, as well as requirements for most suitable working environment. By the way, the product based on this solution has been put into practical service.

Keywords Internet of vehicles technology, Data mining, Green-car, Artificial intelligence

1 引言

随着移动物联网技术和大数据云后台技术的快速发展,信息行业正在不断对已有行业的潜力进行挖掘,用信息行业的思维去重新提升传统行业,将会为传统行业开辟新的局面。而未来的汽车将是电子信息、软件主导的新能源智慧车辆,主要体现在自身监测与管控、信息共享与交互、统一调度与指挥、自动驾驶、新能源等方面。

目前,全球新能源汽车的主要瓶颈在于电池的能量密度,由于制造工艺与材质本身的不均匀性,以及车内环境的影响所造成的单体间的差异性,导致充电时容量最小的单体容易过充,放电时容量最小的单体又容易过放,这样,容量最小的单体很容易受损,容量变得更小,进入恶性循环。单体性能的优劣会直接影响到整个电池组的充放电特性,从而影响到电池组的使用寿命以及整车的续航里程。电机驱动系统是电动汽车的关键技术之一,电动汽车电机驱动系统与整车运行性能有很大关系。驱动系统的任何故障都可能进一步扩大,导

致上层系统变化。因此,准确、可靠、快速地对电动汽车进行故障自诊断是确保电动汽车绿色运行的有效途径。

传统的 OBD 车载自动诊断系统只能简单地将汽车总线上的发动机故障码读取出来,而并未对汽车 CAN 总线数据进行综合分析 with 深度挖掘。另外,传统的诊断方案基本是针对传统汽车发动机故障以及尾气排放而言的,对于新能源汽车来说,并没有多少实际的指导意义。现有的车辆一般仅具有显示、娱乐、导航等常规功能,当车辆出现故障时,需要工程师现场查看和分析数据后才能定位问题的根源,这样既浪费了人力成本和时间成本,又无法满足用户对智能化的需求。

与传统的 OBD 方案相比,本解决方案的优点主要体现在:1)数据来源,诊断数据源来自于汽车 CAN 总线上的所有数据帧,参考数据源更具完整性;2)研究方法,对海量数据提供专业级的数据库存储,并对其进行数据挖掘与分析;3)用户体验,对于一般汽车用户来说,汽车相关的专有名词很难理解,本方案可以使司机自身驾驶习惯得到比较直观的展现,促

本文受移动物联网关键技术与应用项目(XDA06040300)资助。

章军辉(1985—),男,硕士,主要研究方向为移动物联网关键技术与应用,E-mail:zjh34@mail.ustc.edu.cn;李庆(1972—),男,研究员,硕士生导师,主要研究方向为传感器集成与数据融合、数字图像处理;陈大鹏(1968—),男,研究员,博士生导师,主要研究方向为集成电路、MEMS。

使驾驶员把握当时的车况以及驾驶状况;4) 完整的研究机制和工程实施方案。

本文主要介绍与研究了系统架构及原理分析、系统实现的具体算法, 以及工程上的实施应用。

2 系统架构及原理分析

本解决方案的硬件平台是 Freescale iMX6, OS 是 Android4.2 系统, 通信协议遵循 SAE1939 标准, 通过 CAN 接口挂接到汽车总线网络上, 作为汽车总线网络的一个节点设备。本方案的系统结构框图如图 1 所示。该系统首先建立数据缓冲池, 启动故障侦听服务, 存储发生故障时刻前后 ΔT 时间内的总线数据源, 以便在故障诊断时进行数据源挖掘与分析。

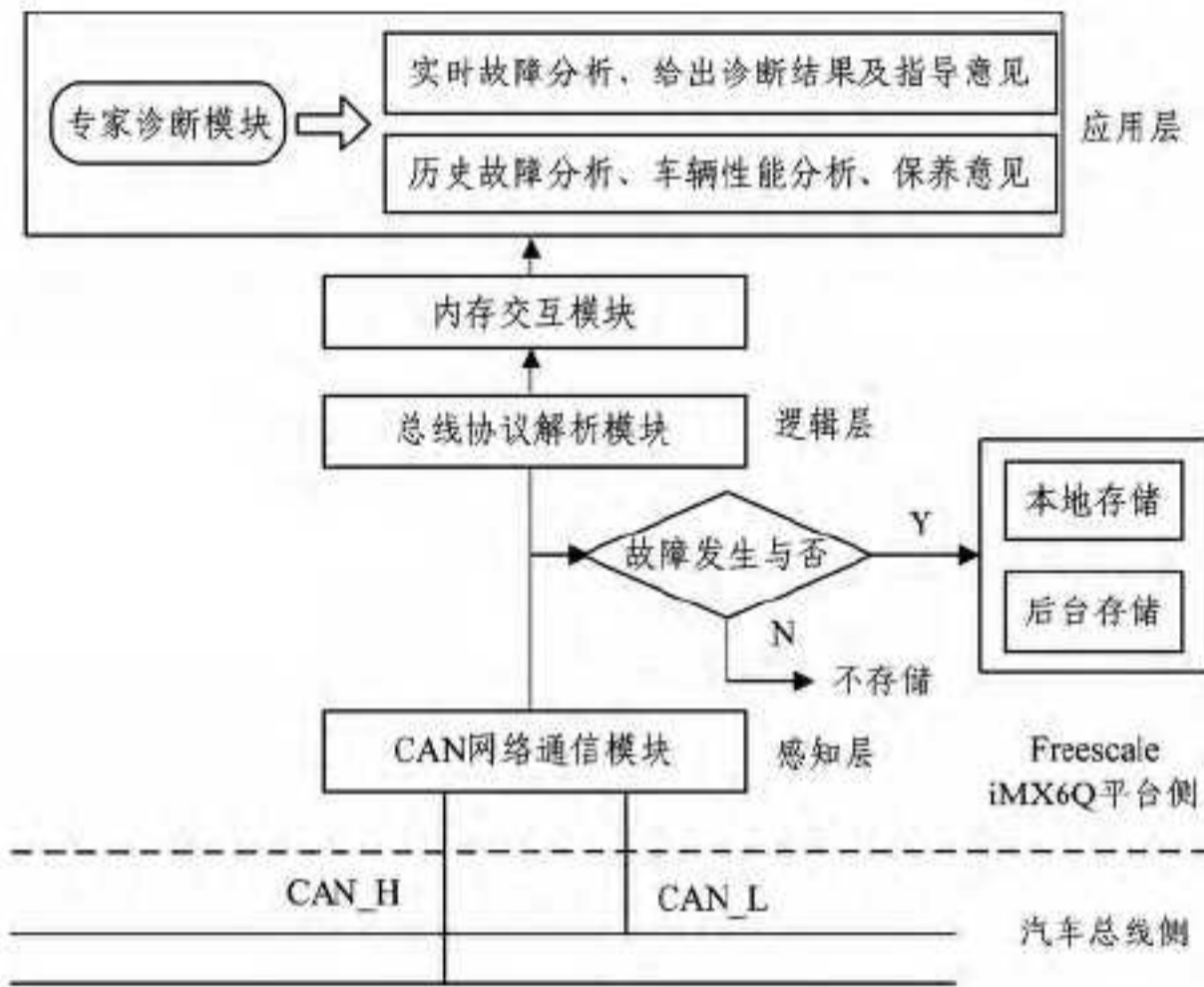


图 1 系统结构框图

对于故障原因诊断来说, 如果数据源不能提取阶跃属性、相关性特征, 将会影响诊断的精准性。

在一次点火上电过程中, 重要的现场数据包括: 1) 故障发生时刻 $(t-\Delta T, t+\Delta T)$ 内总线上的所有数据源; 2) 总线上发生故障的节点设备 ID; 3) 该设备上各种故障发生的频率, 作为节点设备性能评估时的一项指标; 4) 故障发生时刻, 可以快速定位待分析的参考数据源, 节约了顺序遍历的时间开销; 5) 故障索引表, 用来快速定位待分析的数据源。

本解决方案借助数据库记录上述关键信息, 尤其是特殊的、很难再现的数据, 例如电池管理系统 BMS 中单体瞬态过压、过流、过温等信息。由于单体电池间存在差异, 有些电池的阈值门限设定得不是很匹配, 可能会导致这些单体电池过充或者过放, 影响电池的性能和使用寿命, 进而影响到整个电池组的总体性能、使用寿命、整车的续航里程。这类故障有时持续时间很短, 而且不容易被发现和捕捉, 但是长期积累则成为一个慢性毒瘤, 而本方案可以及时地发现此类故障, 进而提升动力电池组的使用寿命和整车综合性能。

3 系统实现的具体算法

本诊断算法对总线数据进行挖掘分析, 提取数据的阶跃特征, 能够快速定位到故障点, 尤其是隐蔽性较强的故障, 相当于给汽车配备专家级诊断管家, 一路护航。本解决方案提出的诊断机制包括以下过程: 1) 故障侦听逻辑; 2) 现场保护逻辑; 3) 诊断分析逻辑。具体的算法流程如图 2 所示。

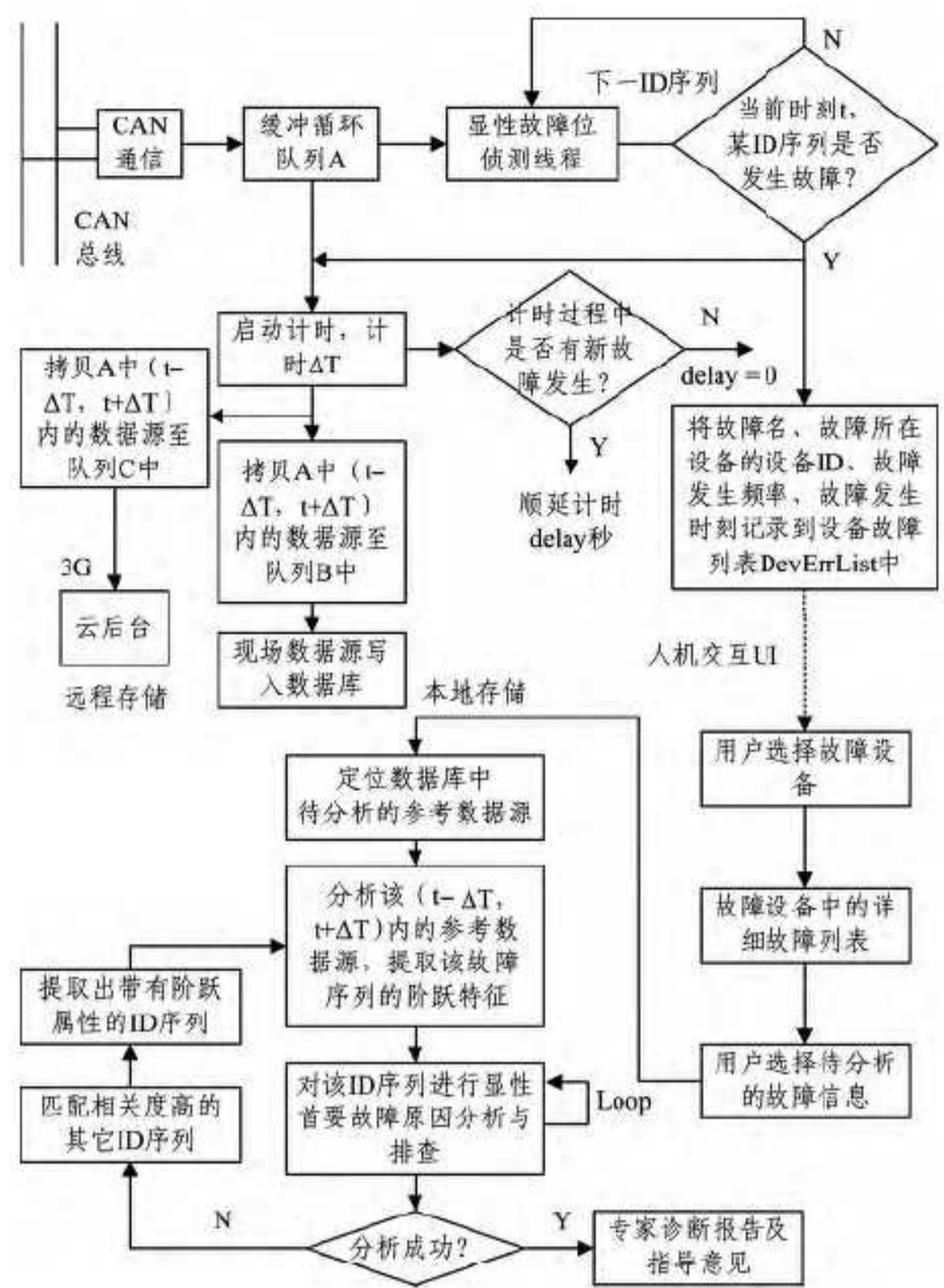


图 2 算法流程图

3.1 故障侦听逻辑

对于 250k/s 的波特率来说, 总线网络上的数据量较大, 若是逐帧现场写存, 势必导致系统开销陡增, 而且还容易丢帧, 也降低了系统的并发处理能力。因而建立缓冲池可以很好地避免这一问题, 并且可以保存一段历史的源数据, 以便诊断时参考。

故障侦听流程如图 3 所示, 主要过程如下:

Step1 建立长度为 N 的缓冲队列, 用于保存现场;

Step2 启动显性故障位侦测线程, 用于判断当前时刻 t 某 ID 序列是否发生故障;

Step3 若故障发生, 启动计时器逻辑; 若无故障发生, 继续侦听下一个 ID 序列。

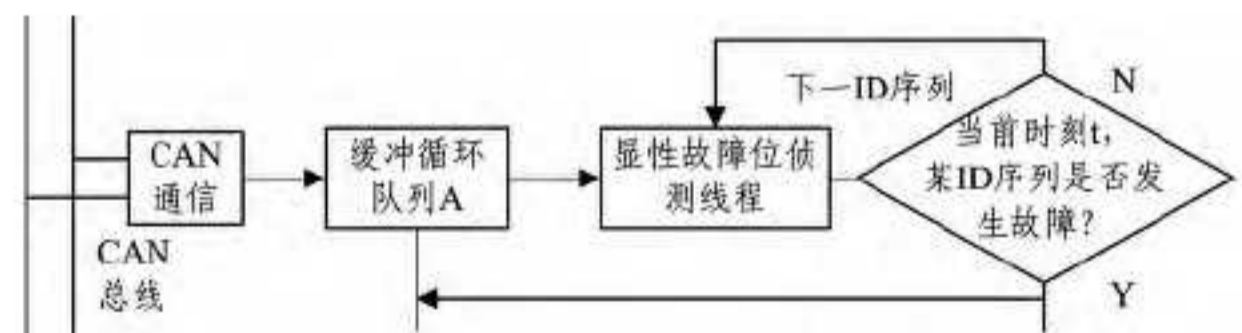


图 3 故障侦听流程图

3.2 现场保护逻辑

在制定 CAN 总线协议时, 会有一些故障位信息, 用于判断节点设备是否发生故障。但是, 只是参考这些故障位信息不能很好地分析出故障发生的真实原因, 且对于那些时好时坏的故障, 更是无从下手, 甚至会忽略掉这些隐患。而对于普通的 OBD 诊断, 不仅是数据源有限, 更重要的是它的数据源是结果性数据, 没有阶跃属性, 也很难提取相关性特征, 工程师根据 OBD 诊断结果还要人为分析, 费时费力, 不容易定位出故障发生的根源。

因此, 阶跃时刻的前后数据源对诊断分析的准确性显得尤为重要。本方案支持两种存储方案: 1) 本地存储; 2) 远程存储。数据源与故障索引表的存储逻辑如图 4 所示。在某一时刻 t 发生故障, 则启动计时任务, 顺延 ΔT 秒后, 分别拷贝队列 A 中 $(t-\Delta T, t+\Delta T)$ 内的数据源至队列 B 和队列 C 中, 并保存至数据库。若在计时过程中又有新的故障发生, 需要再顺延 delay 秒, 以确保数据源的完备性。另外, 故障名、故障所在设备的设备 ID、故障发生频率、故障发生时刻这些关键属性, 对于数据库索引和快速查找非常有帮助, 故需要单独建立一张故障列表。

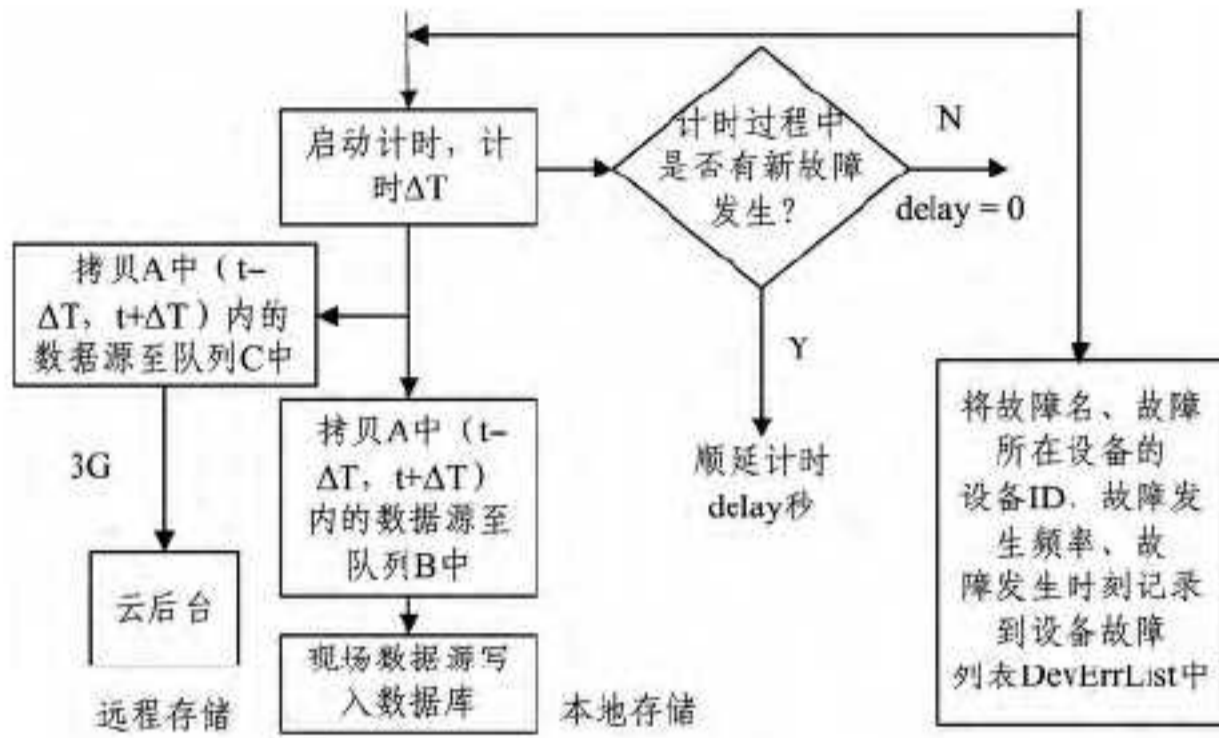


图 4 数据存储流程图

3.2.1 本地存储

本地存储的主要过程如下:

Step1 侦听逻辑中有故障发生, 启动计时器;

Step2 计时过程中, 若有新故障发生, 计时器将会顺延 delay 秒, 记录下 delay 秒内的数据源;

Step3 拷贝循环队列 A 中 $(t-\Delta T, t+\Delta T)$ 内的数据源至队列 B 中, 并将队列 B 中的数据源写入数据库。

3.2.2 远程存储

远程存储的主要过程如下:

Step1 拷贝循环队列 A 中 $(t-\Delta T, t+\Delta T)$ 内的数据源至队列 C 中;

Step2 将队列 C 中的数据源打包, 通过 3G 无线发送至后台服务器。

3.2.3 故障索引表存储

将故障名、故障所在设备的设备 ID、故障发生时刻、故障发生频率记录到设备故障列表 DevErrList 中。

3.3 诊断分析逻辑

对海量数据进行查询操作时, 一般的顺序查找的复杂度为 $O(n)$, 查找速度慢, 平均查找长度为 $(n+1)/2$, 约为表长度的一半。而二分查找的复杂度为 $O(\log_2 n)$, 查找速度快, 缺点是需要建立有序表。

本解决方案采用索引表加上主表的方式, 索引顺序查找 (又称分块查找) 是顺序查找和折半查找的折中改进方法。索引查找是在索引表和主表上进行的查找。其过程是根据给定的索引值 K_1 , 在索引表上查找出索引值等于 K_1 的索引项, 以确定 K_1 对应的子表在主表中的开始位置和长度, 然后再根据给定的关键字 K_2 , 在对应的子表中查找出关键字等于 K_2 的元素 (即结点)。

本方案故障诊断的流程如图 5 所示, 诊断逻辑的主要过程如下:

Step1 用户选择待诊断的故障设备。

Step2 解析出该设备下发生的所有故障。

Step3 用户选择待分析的故障。

Step4 根据设备故障列表 DevErrList , 可以快速找到该故障发生的时刻 t , 进而快速定位到数据库中 $(t-\Delta T, t+\Delta T)$ 内的数据源。

Step5 故障诊断分析

Step5.1 显性故障原因分析方法:

① 提取 $(t-\Delta T, t+\Delta T)$ 内该 ID 序列的阶跃特征;

② 对可能会出现显性故障逐一排查。

Step5.2 隐性故障原因分析方法:

① 匹配相关度高的其它 ID 序列;

② 判断该 ID 序列是否有阶跃变化;

③ 对带有阶跃属性的高相关度的 ID 序列进行迭代分析。

Step6 根据 Step5 的结果:

① 找到故障最可能发生的原因, 并给出相应指导意见;

② 结合故障发生频率、故障等级、故障所在的设备等, 分析车辆性能, 并给出汽车保养意见。

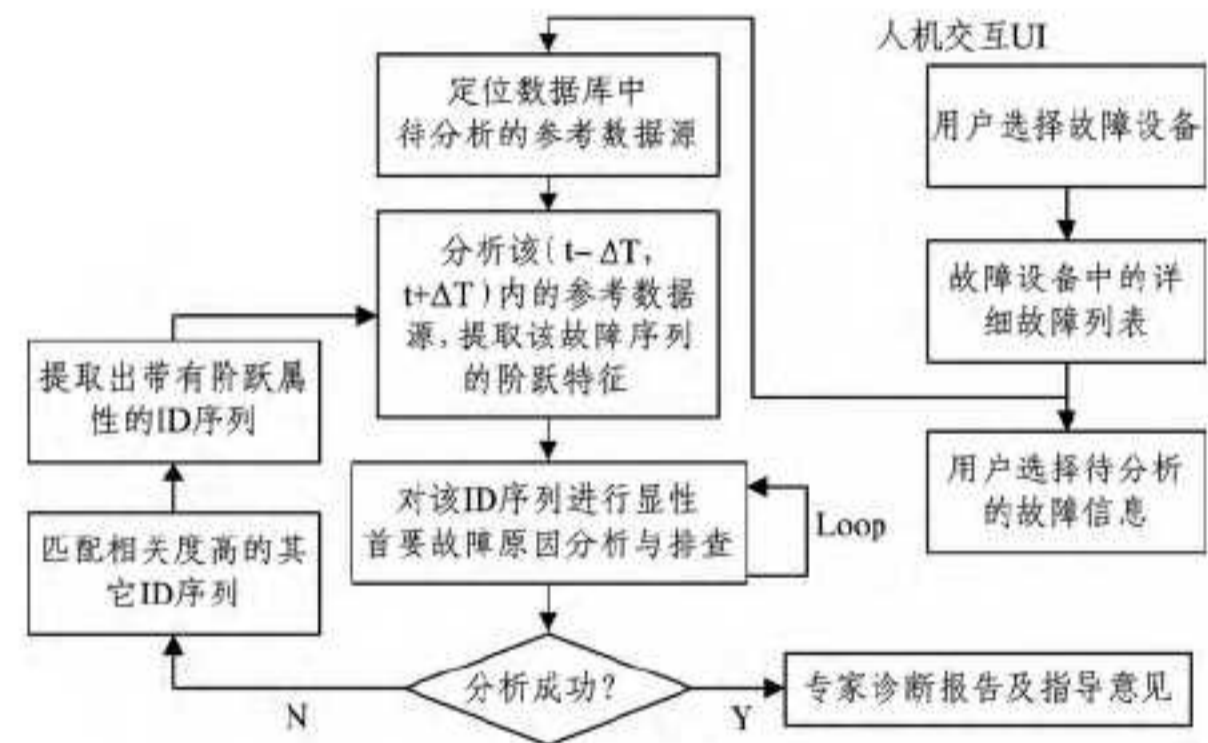


图 5 故障诊断流程图

4 实施应用

为实现对汽车总线网络节点设备工作状态的实时监测和预警提醒, 保护故障现场, 以及满足对故障自诊断分析的智能化需求, 本项目构建了一套新能源汽车电控信息管理平台, 它可以实时侦测整车所有总线设备包括电池组各个单体在内的工作状况, 并记录下所有故障疑点的瞬态过程, 不仅给现场工程师发现问题、定位问题提供了非常便捷高效的途径, 也对 BMS 性能优化提供了扎实的参考依据。专家诊断系统的工作界面如图 6 所示, 该套系统平台中集成了整车信息、车身控制、视频监控、专家诊断, 以及空调与系统设置模块。目前, 这套系统已经投放到诸如安凯、金龙等国内几家大型汽车厂商的前装市场。

本解决方案中诊断算法的优势在于: 1) 强大的数据库支持、丰富的数据来源增强了诊断结果的可靠性和准确性; 2) 建立一张故障关键字索引表, 通过不断地缩小欲获得数据的范围来筛选出最终结果, 快速定位待分析的数据源, 无需遍历所有数据源进行匹配, 提高了数据库查询速度, 同时也降低了算法的时间复杂度; 3) 只保存故障发生时刻 $(t-\Delta T, t+\Delta T)$ 内总线上的有效数据源, 这段带有阶跃属性的数据源很重要, 有助于故障精准分析以及相关性分析。汽车总线上的数据一直发送, 将会导致没有阶跃属性和相关特性的数据源也被记录下来, 长期累计会增加存储开销, 本方案对数据源进行有所选择的存储, 极大地降低了存储开销。

(下转第 72 页)

Research Part C: Emerging Technologies, 2013, 26: 78-98

- [14] Fahed A, Ghali N, Thierry D. A multiple-hypothesis map-matching method suitable for weighted and box-shaped state estimation for localization [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, 12(4): 1495-1510
- [15] 唐进君, 刘芳. 基于路径预测的不确定性推理组合地图匹配算法[J]. 测绘学报, 2010, 39(2): 207-212
- [16] 苏海滨, 王光政, 王继东. 基于模糊神经网络的地图匹配算法[J]. 北京科技大学学报, 2012, 34(1): 43-47
- [17] Chen Bi-yu, Yuan Hui, Li Qing-quan, et al. Map-matching algorithm for large-scale low-frequency floating car data[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2014, 28(1): 22-38

- [18] Tomio M, Daisuke K, Toshiyuki Y, et al. Development of map matching algorithm for low frequency probe data[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2012, 22(5): 132-145
- [19] Lafferty J, McCallum A, Pereira F. Conditional random fields: Probabilistic models for segmenting and labeling sequence data [C]//Proc. 18th ICML, San Francisco, CA, USA, 2001: 282-289
- [20] Seymore K, McCallum A, Rosenfeld R. Learning hidden Markov model structure for information extraction [C] // Proc. AAAI Workshop Mach. Learning Inf. Extraction, 1999: 37-42
- [21] Arvind T, James B, Tomas G, et al. Cooperative transit tracking using smart-phones [C] // Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 2010: 85-98

(上接第 36 页)



图 6 专家诊断系统 UI 界面

结束语 车联网是物联网在汽车领域的一个典型应用,是移动互联网、物联网向业务实质和纵深发展的必经之路,是未来信息通信、环保、节能、安全等发展的融合性技术。

以汽车作为信息节点,集成先进可靠的传感器技术、数据处理技术、移动通信技术、大数据挖掘技术、云计算技术等,通过整合车内网络、车车网络、车与后台控制中心网络,构建无处不在的网络连接与信息交互,例如为交通部门提供各种道路交通的数据,为驾驶员提供特定条件下的交通信息。车联网的建立,能起到缓解交通拥堵、减少资源浪费、减少交通事故、提高交通管理效率的作用。本方案借助车联网技术、数据库平台、海量数据挖掘与分析技术,最终实现汽车 CAN 总线故障智能化自诊断,其专家诊断可以在本地进行,由人工选择需要分析的故障,也可以在云后台进行远程诊断并提供远程技术支持。此外,专家诊断通过数据挖掘与分析技术,分析车辆性能以及司机的驾驶习惯,为安全驾驶、绿色驾驶提供专家

指导意见,对最终达到行车更加安全、出行更加顺畅和节能环保等目标也会起到一定借鉴作用。

参 考 文 献

- [1] Science. Special Online Collection; Dealing with Data [EB/OL]. [2014-03-19]. <http://www.sciencemag.org/site/special/data>
- [2] Ng W S, Ooi B C, Tan K L, et al. PeerDB: A P2P-based system for distributed data sharing [C] // Proceedings 19th International Conference on Data Engineering, 2003. IEEE, 2003: 633-644
- [3] Mansour S, Nasser N, Karim L, et al. Wireless sensor network based air quality monitoring system [C] // 2014 International Conference on Computing, Networking and Communication (ICNC), 2014: 545-550
- [4] Big data [EB/OL]. [2014-03-19]. http://en.wikipedia.org/wiki/Big_data
- [5] Azarian A, Siadat A. A global modular framework for automotive diagnosis [J]. Advanced Engineering Informatics, 2012, 26(1): 131-144
- [6] Tian Li-yuan, Qin Gui-he, Zhang Jin-dong. Remote diagnosis system of vehicle based on telematics [C] // Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), 2010
- [7] Jegadeeshwaran R, Sugumaran V. Fault diagnosis of automobile hydraulic brake system using statistical features and support vector machines [J]. Mechanical Systems & Signal Processing, 2015, 52: 436-446
- [8] Zhang S, Mathew J, Ma L, et al. Best basis-based intelligent machine fault diagnosis [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2005, 19(2): 357-370
- [9] Vulturescu B, Trigui R, Lallemand R, et al. Implementation and test of a hybrid storage system on an electric urban bus [J]. Transportation Research Part C Emerging Technologies, 2013, 30(30): 55-66
- [10] Remmlinger J, Buchholz M, Meiler M, et al. State-of-health monitoring of lithium-ion batteries in electric vehicles by on-board internal resistance estimation [J]. Journal of Power Sources, 2011, 196(12): 5357-5363