

FlexRay 总线在电池储能系统中的应用

马建业¹, 黄 梅¹, 王占国¹, 刘 彪¹, 盛大双²

(1. 北京交通大学电气工程学院, 北京 100044; 2. 北京市亿能通电子有限公司, 北京 100044)

摘 要: 当前大规模储能电池管理系统内部通信总线普遍采用 CAN 总线, 使用 FlexRay 总线作为其内部总线替代传统的 CAN 总线, 能较好地满足大规模电池储能系统(BESS)内部通信的要求。分析 CAN 总线用于大规模储能电池管理系统存在的不足以及 FlexRay 总线的优势。在 BESS 通信架构的基础上, 介绍储能电池管理系统的通信架构, 讨论 FlexRay 总线在大规模储能电池管理系统中的应用及主要方案。运用 Network Designer 与 CANoe. FlexRay 仿真验证 FlexRay 通信系统在大规模储能电池管理系统中应用的可行性, 结果表明, 与 CAN 总线相比, FlexRay 总线用于储能电池管理系统中可以取得更好的效果。

关键词: FlexRay 总线; CAN 总线; 电池储能系统; 储能电池管理系统; FlexRay 参数设计; 通信仿真

中文引用格式: 马建业, 黄 梅, 王占国, 等. FlexRay 总线在电池储能系统中的应用[J]. 计算机工程, 2014, 40(11): 260-265.

英文引用格式: Ma Jianye, Huang Mei, Wang Zhanguo, et al. Application of FlexRay Bus in Battery Energy Storage System[J]. Computer Engineering, 2014, 40(11): 260-265.

Application of FlexRay Bus in Battery Energy Storage System

MA Jianye¹, HUANG Mei¹, WANG Zhanguo¹, LIU Biao¹, SHENG Dashuang²

(1. School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Beijing EPOWER Electronics Co., Ltd., Beijing 100044, China)

【Abstract】 CAN bus is normally used as internal bus in the large-scale Battery Energy Storage System (BESS) at present. FlexRay used as internal bus replacing CAN bus can well meet the requirements of internal communications in the large-scale battery energy storage system. The shortage of CAN bus which is used in the large-scale battery energy storage system and the superiority of FlexRay bus are analysed. Based on the simple introduction of the communication architecture of battery energy storage system, the communication architecture of energy storage battery management system is introduced by focus, and the feasibility of the application and major scheme of the FlexRay communication protocol in large-scale energy storage battery management system are discussed. Network Designer and CANoe. FlexRay are used to simulate the feasibility of FlexRay communication system used in the large-scale battery energy storage system. Simulation results prove that FlexRay bus used in energy storage battery management system can achieve good effects compared with CAN bus.

【Key words】 FlexRay bus; CAN bus; Battery Energy Storage System (BESS); energy storage battery management system; FlexRay parameter design; communication simulation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2014.11.052

1 概述

储能技术作为风能、太阳能等可再生能源的大规模发展以及我国智能电网建设的核心技术之一, 在可再生能源大规模并网、削峰填谷、调峰调频、后备电源

以及提高电能质量上发挥着重要的作用^[1]。相比于抽水储能等大容量储能系统, 电池储能技术空间可移植性更好, 而且由于锂电池技术不断成熟使大规模储能电站建设成为可能, 未来发展前景广阔。

电池储能系统 (Battery Energy Storage System,

基金项目: 国家能源局基金资助项目 (NY20110705-1)。

作者简介: 马建业 (1987 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: FlexRay 网络仿真, 新能源及新型发电技术; 黄 梅, 教授; 王占国, 工程师; 刘 彪, 讲师; 盛大双, 工程师。

收稿日期: 2013-09-29 **修回日期:** 2013-12-02 **E-mail:** 12125869@bjtu.edu.cn

BESS)内部通信规约各异,监控系统以及上层的电力调度中心一般采用符合 IEC61850 标准的光纤以太网通信,PCS 根据不同的要求采用 RS485、CAN、以太网通信,储能电池管理系统当前通常采用 CAN 总线通信。然而随着大规模电池储能系统的应用,电池组模块间信息采集点陡然增多,采集信息量大,通信节点及拓扑结构复杂,需要电池储能系统能满足在强电磁干扰环境下运行。此时储能电池管理系统内部 CAN 总线通信系统所固有的缺陷逐步显现,主要表现在通信速率低、总线吞吐率低、通信节点数量有限、拓扑结构简单。FlexRay^[2]是继 CAN 和 LIN 总线之后的最新成果,相比与 CAN 总线 FlexRay,具有有更灵活的数据通信方式,更快的数据传输速率,更全面的拓扑选择,更完善的容错机制。因此, FlexRay 总线是大规模储能电池管理系统内部理想的通信总线解决方案。

本文分析 CAN 总线用于大规模储能电池管理系统存在的不足以及 FlexRay 总线的优势,讨论 FlexRay 总线在大规模储能电池管理系统中应用的可行性及主要方案。

2 FlexRay 总线

FlexRay 是由 FlexRay 联盟制定的新一代高速总线^[3],与传统的 CAN 总线相比, FlexRay 总线在通信速率、确定性、可靠性等多方面都有着更为优越的性能。主要表现如下^[4]:

- (1) 通信带宽: FlexRay 带宽不受协议机制的限制,单通道最快 10 Mb/s,采用双通道系统时可达2 × 10 Mb/s 的速率,远高于 CAN 总线。
- (2) 时间确定性: FlexRay 总线采用时分多路的数据传输方式,数据在通信周期中拥有固定位置,确保消息到达的时效性。
- (3) 分布式时钟同步: FlexRay 总线使用同步时基的访问方法。
- (4) 容错数据传输: FlexRay 总线具有专用决定性故障容错协议,支持多级别的容错能力,确保数据传输的可靠性。
- (5) 灵活性: FlexRay 总线支持总线型、星型、级联星型、混合型等多种拓扑结构,支持时间触发和事件触发通信方式。

3 FlexRay 在大规模电池储能系统中的应用

3.1 电池储能系统通信架构

当前电池储能系统通信架构^[5]如图 1 所示,采用分层、分布设计,分为系统层和设备层两层结构。包括监控系统通信网络、储能电池管理系统通信网络、PCS 及保护测控设备通信网络。采用的通信规约包括 Ethernet, FlexRay, CAN, RS485, 各个通信规约比较如表 1 所示。

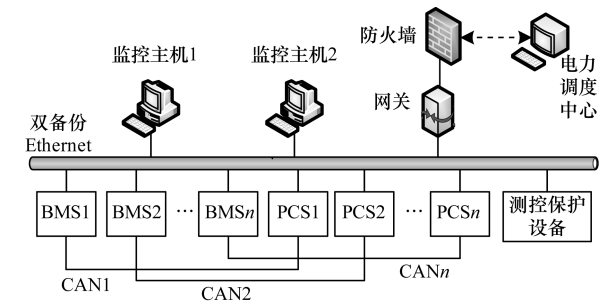


图 1 大规模电池储能系统通信架构

表 1 电池储能系统通信总线比较

总线	通信速率	抗干扰能力	存在问题
RS485	很低	低	可靠性差,通信速率不能满足电池管理通信数据量的要求
CAN2.0	低	高	通信速率基本满足中小型电池储能系统的数据量要求
FlexRay	高	很高	能满足大型电池储能系统的数据量要求,但成本较高
Ethernet	很高	中	能满足大型电池储能系统的数据量要求,但可靠性不高

3.2 储能电池管理系统 FlexRay 通信架构设计

储能电池管理系统^[6]内部采用 FlexRay 总线取代 CAN 总线。如图 2 中每个储能电池管理子系统采用主从板结构由一个电池管理主板(BMS)和若干个 BMU 以及一个单元内部数据信息显示监控节点组成。本文设计一个储能单元由 192 节单体电池串联组成,每个 BMU 采集 12 节单体电池数据信息,因此共需要 16 个从板和 1 个主板以及1 个显示监控节点,共 18 个节点,本文采用总线形拓扑结构。每个从板采集 12 节单体电池的电压、温度、故障信息,并在静态段中规定的时隙内发送给 BMS 和显示屏节点。BMS 将采集的 BMU 信息整合并采集电流信号,计算 SOC、对地绝缘电阻值以及其他故障信息,并在静态段中规定时隙发送到显示屏节点同时还按规定要求发送给上层监控系统。此外 BMS 根据从板采集的数据发送相应的控制信息,根据不同的 BMU 节点在动态段相应的时隙内由 BMS 节点发送到相应的 BMU 节点,如图 2 所示。

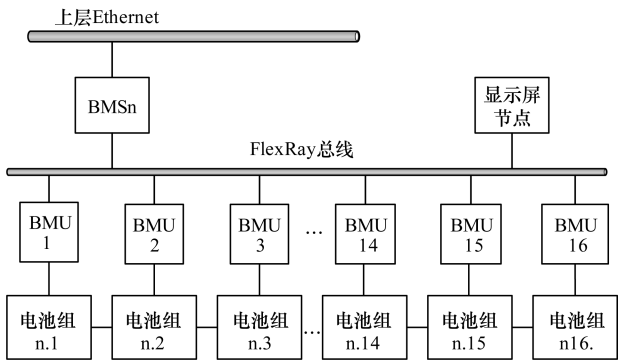


图 2 储能电池管理系统 FlexRay 通信系统设计

4 FlexRay 通信仿真模型的搭建

4.1 FlexRay 网络仿真数据库

FlexRay 网络仿真模型的搭建主要采用 Vector Informatik 公司开发的 Network Designer 与 CANoe. FlexRay^[7]。Network Designer 主要是用于建立 FlexRay 网络仿真的数据库, CANoe. FlexRay 主要是搭建仿真模型并进行仿真分析。

对 FlexRay 通信系统设计首先要对通信系统参数设计, 总共有约 70 个参数需要在网络启动前配置好, 包括全局参数和节点参数。本文仿真实验主要全局参数设定如下: 通信周期: 10 ms; 通信速率: 10 Mb/s; 通信通道采用冗余通信方式设定为 A&B; 静态段长度: 6 885 μ s; 动态时隙长度: 2 400 μ s。部分参数的设置如表 2 所示。

帧 EVfp_tomb_n (n 为整数, n 取值范围为 1 ~ 16) 按照从低到高的顺序安排在静态时隙 2 ~ 时隙 17 发送, 发送节点: 相应的从板节点; 接收节点: 主板节点和显示监控节点。静态段数据帧的帧 ID 为相应的静态时隙号。主板向从板发送命令的数据帧 Evmb_CMD_n (n 为整数, n 取值范围为 1 ~ 16) 只在需要发送的时候才发送, 符合事件驱动的特点, 因此安排在动态段发送。为保证每一个控制帧都有足够的时间发送, 发送的时间设定为 2 个微时隙, 动态段发送时隙分配见图 3。从图中可以看出数据帧发送

完成是在第 50 个微时隙, 该值小于参数 pLatestTX 的值 58, 从而保证所有的控制帧都能在当前周期发送完成而不会延迟到下一个周期发送。各个节点时隙、数据帧的具体分配如图 3 所示。

在完成系统参数设置、时隙任务分配、添加信号和数据帧生成等相关工作以后, 由 Network Designer 构建的仿真数据库模型如图 4 所示。

表 2 FlexRay 部分全局和节点参数值

系统参数	设定值	节点参数	设定值
周期长度	10 000 μ s	微时间片数量	400 000 μ s
静态时隙长度	81 MT	节点连接通道	A&B
静态时隙数量	85	微时间片长度	0.025 μ s
静态负载长度	25 word	监听超时上限	802 404 μ s
静态时隙偏移量	10 MT	pLatestTX 值	58
动态微时隙长度	40 MT	关键时隙号	1, 2, 10, 18
动态微时隙数量	60	相位校正上限	406 μ T
动态负载长度	32 Byte	速率校正上限	1 202 μ T
动态时隙偏移量	3 MT	相位校正起始点	9 959 MT
通信速率	10 Mb/s	唤醒通道	A
符号窗长度	35 MT	WUS 数量	33
网络空闲段长度	673 MT	单时隙模式	Flase

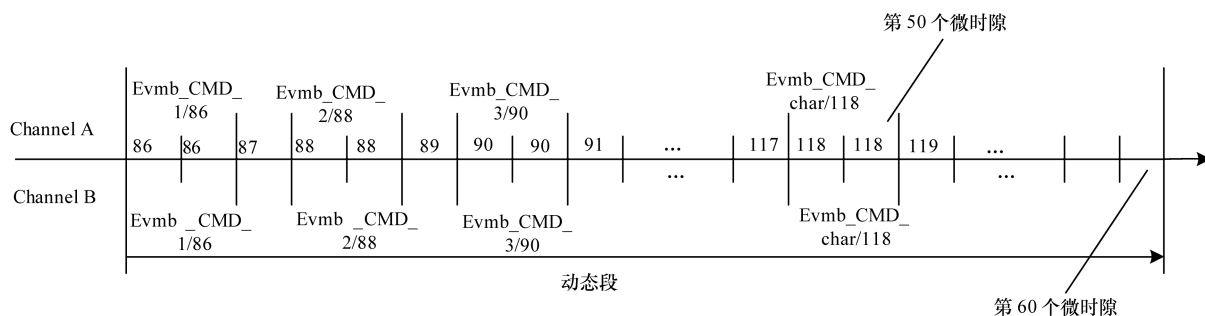


图 3 动态段时隙分配

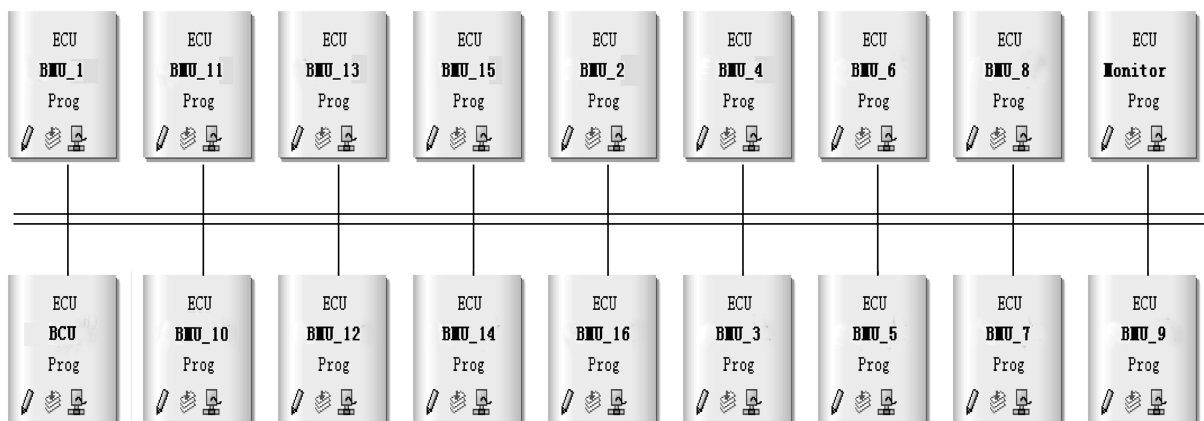


图 4 仿真数据库模型

5.2 仿真结果分析

5.2.1 FlexRay 网络延迟性分析

FlexRay 网络通信延迟时间 T_d 由以下 4 部分组成:即生成延迟 T_s 、传输延迟 T_c 、队列延迟 T_w 、接收延迟 T_r [8-10]。

生成延迟 T_s 为发送节点处理器接收到本节点的请求,到它将准备好的数据写入缓存队列里所花费的时间。

传输延迟 T_c 为 FlexRay 数据帧的传输时间,定义公式为:

$$T_c = \frac{\text{Frame_Size}}{\text{Bit_Rate}} \quad (1)$$

其中, Frame_Size 为数据帧的大小; Bit_Rate 为 FlexRay 总线的通信速率。

队列延迟 T_w 是由静态帧传输和较高优先级的动态帧所引起的网络延迟,包括单通信周期的随机队列延迟和多通信周期队列延迟。

接收延迟 T_r 为数据帧离开总线到数据发送到接收节点微处理器所花费的时间。

FlexRay 网络通信延迟时间 T_d 的计算公式如下:

$$T_d = T_s + T_c + T_w + T_r \quad (2)$$

生成延迟 T_s 和接收延迟 T_r 与各个节点的处理速度直接相关,与 FlexRay 通信网络本身的特性并无多大关系,并且它们的时间很小,在分析时可以忽略它们的影响。于是可以将网络延迟时间公式简化为:

$$T_d = T_c + T_w \quad (3)$$

传输延迟 T_c 可以分为静态帧传输延迟 T_{cs} 和动态帧传输延迟 T_{cd} ,根据传输延迟的定义公式可得:

$$T_{cs} = \text{Frame}_s \times \delta_{\text{bit}} \quad (4)$$

$$T_{cd} = \text{Frame}_d \times \delta_{\text{bit}} \quad (5)$$

其中:

$$\delta_{\text{bit}} = 1/\text{Bit_Rate} = 0.1 \mu\text{s}$$

$$\text{Frame}_s = \text{TSS} + \text{FSS} + 80\text{gdbit} + \text{Payload} \times 20 + \text{FES} = 594\text{gdbit}$$

$$\text{Frame}_d = \text{TSS} + \text{FSS} + 80\text{gdbit} + \text{Payload} \times 20 + \text{FES} + \text{DTS} = 418\text{gdbit}$$

$$T_{cs} = \text{Frame}_s \times \delta_{\text{bit}} = 59.4 \mu\text{s} \quad T_{cd} = \text{Frame}_d \times \delta_{\text{bit}} = 41.8 \mu\text{s}$$

$$T_c = 59.4 \mu\text{s} + 41.8 \mu\text{s} = 101.2 \mu\text{s}$$

其中, gdbit 为每一位的时间间隔。由于 FlexRay 通信周期静态段采用基于时间触发的 TDMA 通信方式,每个静态帧在静态段中有固定的发送时刻,每个静态帧的发送都不会对其他静态帧造成影响。因此,没有必要讨论静态段的队列延迟的影响,只要考虑动态段队列延迟的影响^[11]。动态段队列延迟主

要考虑以下 2 点因素:

(1) 和当前帧 ID 相同,但优先级高的数据帧。

(2) 任何比当前帧 ID 小的动态数据帧。

令:

$$T_w = T_{w1} + T_{w2} \quad (6)$$

其中, T_{w1} 为第 1 个因素造成的影响; T_{w2} 为第 2 个因素造成的影响。

T_{w1} 和 T_{w2} 的计算公式分别如下:

$$T_{w1} = (n - 1) \times T_{bus} \quad (7)$$

$$T_{w2} = m \times T_{bus} + T_{static} + \sum_{i=0}^n \text{Frame}_{di} \times \text{gdmicroticks} \quad (8)$$

结合本次仿真方案,设计每个动态帧具有唯一的帧 ID,不存在具有相同帧 ID 而优先级不同的多个动态帧,因此 $T_{w1} = 0$ 。根据动态段通信调度表的设计,每个动态帧都能在动态段 pLatestTx 时刻(即可进行数据传输的最后一个时隙)前发送完成,并结合仿真结果可知没有产生因较小帧 ID 造成其他动态帧发送延迟的现象,因此 $T_{w2} = 0$ 。所以队列延迟 $T_w = 0$ 。

网络延迟 $T_d = 59.4 \mu\text{s} + 41.8 \mu\text{s} + 0 = 101.2 \mu\text{s}$,可以看出本次仿真方案的网络延迟已经相当低,完全满足储能电池管理系统的实时性要求。

5.2.2 FlexRay 网络总线负载率分析

FlexRay 总线负载率就是静态帧和动态帧占用总线的情况,在分析 FlexRay 总线负载率时,假设没有出现数据帧传输失败的情况,所有数据帧能在最坏情况下的响应时间内传输完成。计算总线负载率的公式^[12]如下:

$$Q = \frac{1}{T_c} \left(\sum_{i=1}^m \text{gdStaticSlot} \times f_i + \sum_{j=m+1}^n (k_j \times \text{gdMiniSlot}) \times f_j \right) = \frac{1}{T_c} \left(\sum_{i=1}^m \text{gdStaticSlot} \times \frac{T_c}{T_i} + \sum_{j=m+1}^n (k_j \times \text{gdMiniSlot}) \times \frac{T_c}{T_j} \right) = \sum_{i=1}^m \text{gdStaticSlot} \times \frac{1}{T_i} + \sum_{j=m+1}^n (k_j \times \text{gdMiniSlot}) \times \frac{1}{T_j} \quad (9)$$

其中, gdStaticSlot 为静态时隙的大小; gdMinislot 为 Minislot 的持续时间。

假设共有 n 个数据帧,其中有 m 个静态帧, $n - m$ 个动态帧。 T_c 为 FlexRay 总线周期, f_i 是第 i 个静态帧的传输频率, T_i 是第 i 个静态帧的传输周期也等于 T_c , f_j 是第 j 个动态帧的传输频率, T_j 是第 j

个动态帧的传输周期也等于 T_c 。 k_j 表示每个动态帧占用动态微时隙的数量。根据论文仿真方案,由于静态帧和动态帧在每个周期时间内都会发送一次,因此:

$$\begin{aligned} f_i &= f_j = 1, k_j = 2, n = 34, m = 17, n - m = 17 \\ Q &= 17 \times 81 \mu\text{s} / 10 \text{ ms} + 17 \times \\ &80 \mu\text{s} / 10 \text{ ms} = 27.37\% \end{aligned}$$

可以看出, FlexRay 总线负载率维持在较低的水平,通信系统能正常运行。

6 结束语

FlexRay 总线作为即 CAN 总线之后的下一代通信总线,在实时性、可靠性、大数据量传输、通信带宽等方面较 CAN 总线都有大幅度提高。在大规模电池储能系统中应用 FlexRay 总线可以有效解决 CAN 总线传输数据量小、带宽低等问题,并能进一步提高可靠性。通过 CANoe、FlexRay 搭建的仿真模型及仿真实验结果表明,通信周期的分配、通信调度的设计都完全满足储能电池管理系统的要求,同时也体现出 FlexRay 总线的优势,达到设计要求。

参考文献

- [1] 张文亮,丘 明,来小康. 储能技术在电力系统中的应用[J]. 电网技术,2008,32(7):1-9.
- [2] FlexRay Consortium. FlexRay Communications System Protocol Specification[EB/OL]. [2013-03-21]. <http://www.flexray.com>.

- [3] 王 婧,张 欣. 汽车网络通信协议 TTP/C 和 FlexRay 的研究分析[J]. 北京汽车,2006,10(6):40-43.
- [4] 庄江丽. FlexRay 总线的组网及其在混合动力客车上的应用[D]. 北京:北京交通大学,2012.
- [5] 孙丙香,姜久春,时 玮,等. 钠硫电池储能应用现状研究[J]. 现代电力,2010,27(6):62-65.
- [6] 王中昂. 钠硫储能电池管理系统研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2012.
- [7] 吴宝新,郭永红,曹 毅,等. 汽车 FlexRay 总线系统开发实战[M]. 北京:电子工业出版社,2012.
- [8] Ding S, Murakami N, Tomiyama H, et al. A GA—Based Scheduling Method for FlexRay System[C]//Proceedings of EMSOFT'05. Jersey City, USA: IEEE Press,2005:259-267.
- [9] Pop T, Pop P, Eles P, et al. Time Analysis of the FlexRay Communication Protocol[C]//Proceedings of the 18th EuroMicro Conference on Real-time Systems. Washington D. C., USA: IEEE Computer Society,2006:321-329.
- [10] Andrei H, Bordoloi U, Chakraborty S, et al. Performance Analysis of FlexRay-based ECU Networks [C]//Proceedings of Design Automation Conference. New York, USA: IEEE Press,2007:445-453.
- [11] 李 佳,田光宇,钮 翔,等. FlexRay 网络通信延迟时间分析[J]. 清华大学学报:自然科学版,2007,47(8):1343-1346.
- [12] 张 利,张本宏,王跃飞,等. 基于总线占有率的 FlexRay 消息时隙分配方法研究[J]. 中国机械工程,2012,23(6):699-702.

编辑 索书志

(上接第240页)

5 结束语

本文通过修改 BDND 的分群不等式,对像素进行初步判断,记录整个图像的噪声分布情况,生成全局噪声的直方图向量,并由此重新设定上下边界值,实现更准确的噪声检测。实验结果表明,本文方法与 BDND 相比,不论在高密度的椒盐噪声或是不平衡椒盐噪声,以及随机值噪声的情况下,均具有更好的检测性能,漏检率大大减小。在视觉效果上,也比 BDND、ASMF 和 PSMF 的滤波结果理想,能够在滤除噪声的同时,更好地保护图像的细节信息不受影响。本文根据噪声模型选取不同的阈值,如何准确而方便地确定阈值有待进一步研究。

参考文献

- [1] 郭承湘,高华玲,阳建中,等. 一种基于噪声检测的图像去噪算法[J]. 计算机工程,2012,38(21):218-220.
- [2] 黄宝贵,卢振泰,马春梅等. 改进的自适应中值滤波算法[J]. 计算机应用,2011,31(7):1835-1837.
- [3] 杨 宁,张培林,任国全. 一种自适应加权中值滤波方法的研究[J]. 计算机应用与软件,2010,27(12):37-39.
- [4] 万洪林,彭玉华,郭 锐. 基于方向的自适应多级中值滤波[J]. 通信学报,2006,27(4):119-123.

- [5] Nallaperumal K, Varghese J, Saudia S, et al. Salt & Pepper Impulse Noise Removal Using Adaptive Switching Median Filter[C]//Proceedings of IEEE OCEANS'06. Singapore:[s. n.],2006:1-8.
- [6] Wang Zhou, Zhang D. Progressive Switching Median Filter for the Removal of Impulse Noise from Highly Corrupted Images[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems II,1999,46(1):78-80.
- [7] Duan Fei, Zhang Yujin. A Highly Effective Impulse Noise Detection Algorithm for Switching Median Filters [J]. IEEE Signal Processing Letters,2010,17(7):647-650.
- [8] Toh K K V, Isa N A M. Cluster-based Adaptive Fuzzy Switching Median Filter for Universal Impulse Noise Reduction[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics,2010,56(4):2560-2568.
- [9] Ng P E, Ma K K. A Switching Median Filter with Boundary Discriminative Noise Detection for Extremely Corrupted Images[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2006,15(6):1506-1516.
- [10] 邱晓晖,赵 阳. 一种亮暗比例悬殊的脉冲噪声重污染图像去噪方法[J]. 南京师范大学学报:工程技术版,2008,8(3):56-60.
- [11] 祁冰露,黄宴委,陈少斌. 先进边界区分噪声检测的改进算法[J]. 中国图象图形学报,2013,18(7):746-752.
- [12] 姜春苗,周祚峰. 去除图像中高斯-脉冲噪声的有效方法[J]. 计算机工程与应用,2009,45(24):183-185.

编辑 索书志