



国家新闻出版署

National Press and Publication Administration

站内搜索输入 Q | 类别



首页

信息发布

办事服务

首页 > 从业机构和产品查询 > 查询结果

期刊/期刊社查询

机构名称	软件
单位地址	
刊号	12-1151/TP
联系电话	
类别	期刊
主管单位	中国科学技术协会
主办单位	中国电子学会、天津市电子学会
语种	未知语言

软件 . 2019,40(04)

“ ☆ ↶ ↷ 🖨 🔔 📝 记笔记

文章目录

- 0 引言
- 1 SDR
 - 1.1 概念内涵
 - 1.2 体系架构
 - 1.3 典型特征
- 2 SDR系统软件的分类
- 3 软件质量评估指标体系
 - 3.1 功能性
 - 3.2 可靠性
 - 3.3 易用性
 - 3.4 效率
 - 3.5 维护性
 - 3.6 可移植性
 - 3.7 易重构性
 - 3.8 合规性
- 4 结束语

软件化雷达系统的软件质量评估指标体系

曾乐天^{1,2}✉ 赵龙飞¹ 杨春晖¹ 赵跃龙² 黄茂生¹

1. 工业和信息化部电子第五研究所软件质量工程研究中心 2. 华南理工大学计算机科学与工程学院

摘要: 为有效评估软件化雷达 (software defined radar, SDR) 系统的软件质量,建立了软件质量评估指标体系总体架构,给出了各评价指标的概念定义和评测方法。首先介绍了SDR的概念内涵、体系架构和典型特征。然后,在对系统软件进行分类的基础上,结合现有的软件质量评估指标,增加反映SDR系统典型特征的指标,并从功能性、可靠性、易重构性、合规性等8个方面,对系统软件的各项指标进行探讨,为业内同行进一步开展相关研究工作提供有益的参考。

关键词: 软件化雷达; 软件质量; 软件分类; 评估指标体系; 易重构性;

基金资助: 中国博士后科学基金资助项目 (2017M622621) ;

专辑: 信息科技

专题: 电信技术; 计算机软件及计算机应用

分类号: TP311.5;TN958

📱 手机阅读

</> HTML阅读

📖 CAJ下载

📄 PDF下载

📱 下载手机APP

用APP扫此码

同步阅读该篇文章

下载: 184 页码: 1-6 页数: 6
大小: 1308K

《计算机系统应用》

< 基于机器学习的模糊测试种子输入优化 >

点击查看>>



期刊导航 ▼

刊名(曾用刊名) ▼

请输入检索词

出版来源检索

文献检索 >

📍 期刊导航

网络出版声明: 本刊为拥有纸质期刊出版许可的正式刊物:《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司(以下简称电子杂志社)为拥有互联网出版许可和互联网信息服务许可的出版单位.....

👁 关注 📡 RSS订阅 ✉ 投稿 ➦ 分享到 ▼



软件



Computer Engineering & Software

基本信息

主办单位: 中国电子学会;天津电子学会
出版周期: 月刊
ISSN: 1003-6970
CN: 12-1151/TP
出版地: 北京市
语种: 中文;
开本: 16开
创刊时间: 1979

[收起](#)

出版信息

专辑名称: 信息科技
专题名称: 计算机软件及计算机应用
出版文献量: 11441篇
总下载次数: 972562次
总被引次数: 30422次

评价信息

(2020)复合影响因子: 1.248
(2020)综合影响因子: 0.933
该刊被以下数据库收录:
JST 日本科学技术振兴机构数据库(日)(2018)
北京大学《中文核心期刊要目总览》来源期刊:
1992年(第一版)

主管：中国科学技术协会

主办：中国电子学会 天津电子学会

ISSN:1003-6970

CN:12-1151/TP



軟件

潘雲鵬

复合影响因子：1.038

软件工程/工程与应用/通信技术/计算机应用/计算机仿真/网络与信息安全/理论计算机科学/图形图像处理

· 中国首届中文核心期刊

· 中国电子学会会刊



Vol.40 NO.4 Apr. 2019

第40卷 第4期



ISSN 1003-6970



2019 **4**

《软件》杂志编委会

特邀顾问

高文院士 何新贵院士 胡启恒院士 金怡濂院士 李伯虎院士 李未院士
陆建勋院士 倪光南院士 潘云鹤院士 邬贺铨院士 张景中院士 赵沁平教授
朱高峰院士

主编

名誉主编暨编委会名誉主任：方滨兴 院士

副主任

冯全源 汤一平 杨公义 杨义先 符云清 曾令仿 江钟伟 赵逢禹

特邀编委

安毅生	蔡懿慈	陈 驰	陈德人	陈 皓	陈志奎	程 光	程红举	啜 钢	慈林林	戴宇杰	党建武
邓建明	邓绍江	丁刚毅	董红斌	董永贵	段宗涛	冯 径	冯 玲	冯乃勤	符 琦	傅育熙	谷勇浩
郭宇春	何克清	何炎祥	何怡刚	洪 玫	洪 沙	胡 斌	胡 亮	胡志刚	黄元亮	黄子河	霍 华
姬五胜	冀傅军	姜建国	金 莉	金 翊	景 红	康重庆	李朝晖	李丽香	李 廉	李庆诚	李仁发
李 彤	李文军	李 曦	李 旭	李宣东	李学庆	李雁妮	李 云	李志辉	李志民	梁久祯	梁满贵
廖明宏	刘 全	刘 超	刘吉强	刘杰民	刘 泽	刘知青	芦 苇	鲁明羽	路永钢	吕铁军	吕玉才
罗继亮	罗 涛	罗宇舟	马鸿飞	马立东	马玉春	孟小峰	闵华清	年福忠	潘林强	庞永星	乔新勇
屈志毅	任立勇	孙 波	孙济洲	孙 强	孙 伟	陶大鹏	王安生	王成耀	王方石	王国胤	王怀民
王如龙	王尚广	王卫星	王文明	王益民	王永吉	王永骥	王永建	文光俊	吴国新	伍仁勇	武 波
肖来元	熊 珂	熊 刚	熊庆宇	熊晓明	薛 强	杨晓春	姚国清	姚全珠	于俊清	袁超伟	臧斌宇
曾烈光	曾庆田	张崇富	张凤军	张惠娟	张 慧	张 鲲	张明武	张 伟	张小龙	赵成林	赵 宏
赵 耀	郑伟民	郑 姚	周伯生	周冬明	周功业	周庆国	周兴社	朱 明	朱 刚	朱剑锋	朱 青
朱正东	宗 群	陈世平									

编委

蔡 超	曹 源	陈超波	陈善雄	陈秀波	陈志佳	程 华	程艳芬	崔慧敏	崔建明	丁 滢	冯俊惠
盖 杉	高 伟	顾仁涛	郭伟刚	郝 帅	何静媛	何志学	洪 亮	胡 军	黄承慧	黄晓宇	惠 飞
景运革	李 慧	李 坤	李 龙	李 鹏	李繁飙	李海燕	李红灵	李军义	李珊珊	李祖德	刘 礼
刘传义	刘宇熹	芦效峰	马 伟	马 友	马友忠	南春丽	倪厦碧	聂 军	潘雪峰	彭海朋	任胜兵
沈济南	孙 健	覃 磊	唐 健	陶传奇	田 祎	王 芳	王 梁	王法胜	王坤侠	王励成	王晓东
王旭丛	王永建	王元卓	王云江	王志晓	王祖喜	文一凭	吴贵芳	肖进胜	谢 刚	谢 夏	谢娟英
辛 阳	邢 颖	熊 伟	修佳鹏	许方敏	颜建强	杨 裔	姚志军	岳名亮	张 程	张 亮	张昌利
张国强	张 娇	张坤龙	张启坤	张天乐	张锡哲	张啸剑	张延松	张宇山	周 宇		

软 件

月刊 (1979 年创刊)
2019 年 4 月 第 40 卷第 4 期
ISSN1003-6970 CN12-1151/TP

《软件》杂志是中国电子学会会刊, 首届中文核心期刊, 被《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中国学术期刊综合评价数据库来源期刊》、《万方数据—数字化期刊群全文收录期刊》、《中文科技期刊数据库(全文版)收录期刊》、《中国知识资源总库 CNKI 源期刊》

目 次

基金项目论文

软件化雷达系统的软件质量评估指标体系	曾乐天, 赵龙飞, 杨春晖, 等	(1)
类不平衡数据的卡方聚类算法研究	刘 欢, 胡德敏	(7)
基于 Node.js 和 JS 的前后端分离实现	张鹏飞, 王 乾, 胡晓冬, 等	(11)
基于 MATLAB 的多种插值算法在地表时序监测中的应用研究	郭 瑞, 李素敏, 陈娅男	(18)
程序合成研究进展	张银珠, 董 威, 刘斌斌	(25)
手机自助点餐系统设计	黄成谋, 施键兰	(31)
基于 IAFSA-SFLA 的新能源电站公平调度方法研究	杨海柱, 康 乐, 岳刚伟, 等	(35)
依托数字化与信息化构建医学院校教学管理与服务平台	孙天超, 赵若晗, 洪 娟	(43)
基于 CityEngine 三维虚拟校园场景设计与实现	马光明, 王聪华, 李丽宁	(46)
基于正向工程建模和 CT 灰度值赋予材料属性的人体股骨受力分析	王 爽, 杨宝军, 陈广新, 等	(51)
集成 iBeacon 技术的移动教学系统设计	彭毅弘	(56)
基于改进 DRLSE 模型的甲状腺 3D 超声图像自动分割	冉冬梅, 严加勇, 崔靖晓, 等	(61)
基于 TCP 拥塞控制的改进 Backpressure 算法	占庆杰, 韩 韧, 周好生	(67)
基于 SketchUp 的建筑物实景三维模型重建	王 涛, 柳德江, 阳利永, 等	(74)
基于 CT 的正常与骨质疏松股骨模态分析	王汝良, 张凯旋, 胡霖霖, 等	(77)
改进的分水岭算法在医学图像分割中的应用	范群贞, 吴 浩, 林 真	(81)
装配式斜交空心板桥受力分析及试验研究	杨晶晶, 李 睿, 徐 征, 等	(84)
网络虚拟学术社区中高校教师队伍协同合作创新机制研究	杜军莲	(88)
基于区域共享的智慧教育平台的设计与实现	蒲在毅	(91)
基于区域特征的中心点追踪的颈动脉分割	李焰宏, 刘 杰, 王俊杰	(94)
基于单片机的 X 射线胃肠诊断床旋转控制方法研究	张敏燕, 王雅楠, 李 尚, 等	(100)
一种无线通信发射功率控制方法设计	安中文, 时立锋, 郝晓强, 等	(103)
电网企业数据管理能力成熟度评价模型研究	马 文, 张新阳, 赵晓平	(108)

设计研究与应用

电力通信网 OTN 网络运行维护研究与实践 李 黎, 陈 灿, 陈彦宇, 等 (112)

简析配网拓扑描述法在故障定位中的应用 王 鹏, 陈 磊 (116)

三相三线电能计量错误接线考试系统 贾宏伟, 梁永昌, 刘 艳 (120)

一类扩展的 CDT 问题存在对偶间隙的充要条件 曲衍明 (124)

人工智能算法对专利保护政策的挑战及应对 王立石, 于行洲, 宋 洁, 等 (128)

基于遗传算法的软件业务流程测试路径的研究 夏 良, 商 伟, 王兆星 (133)

呼叫中心基于 IVR 开发 WEB 接口 肖 坚 (140)

基于线性链条件随机场的用户生成文本标点标注 苏晓宝, 刘 臣, 唐 莉 (145)

基于小波变换的变形监测应用研究 原智华 (150)

两串联排队系统逗留时间的泛函重对数律 张玉艳 (154)

基于矩阵填充的众包学习模型研究 刘天时, 吴 琼 (159)

脐动脉血流信号非线性临床研究 俞凯君, 许子非, 李 春 (162)

基于网络学习行为的学习者本体构建 张紫毓, 李玉斌 (168)

论 CATIA 在产品设计中的运用 朱丹清, 闫 栋 (175)

新工科理念下计算机网络课程教学改革探析 戴伟敏 (179)

基于 Python 的新浪微博爬虫分析 杜晓旭, 贾小云 (182)

基于本体和 Jena 模块的教学资源语义系统设计研究 黄以宝 (186)

基于 FPGA 的电梯控制器 吴雪颜 (190)

基于大数据背景下的高校实验室研究 王 昊 (196)

人工智能在计算机网络技术中的应用分析 习文珂 (199)

计算机网络可靠性优化设计 许得翔 (203)

云计算技术在智慧校园建设中的应用 闫 实, 付 佳, 王晓丽, 等 (207)

一种通过航管集中监控系统分析雷达原始数据的方法 赵 泽 (210)

基于 Ionic 的 App 跨平台混合开发技术的研究 常振业, 刘佳伟, 闫茜茜, 等 (215)

区块链共识算法的比较研究 陈玢乐 (219)

卷积神经网络在案件分类上的应用 李昊泉, 史梦凡, 陈舒楠, 等 (222)

信息与资讯

清华大学 AI 使能平台——紫为云正式发布! (226)

未来五年人工智能将实现的五大突破 (231)

Computer Engineering & Software

(Published monthly since 1979)

Vol.40 No.4 Apr. 2019

ISSN 1003-6970 CN12-1151/TP

Evaluation Index System for Software Quality of Software Defined Radar (SDR) Systems	
..... ZENG Le-tian, ZHAO Long-fei, YANG Chun-hui, et al	(1)
Research on Chi-square Clustering Algorithm for Unbalanced Data	
..... LIU Huan, HU De-min	(7)
Front-end Separation Implementation Based on Node. JS and JS	
..... ZHANG Peng-Fei, WANG Qian, HU Xiao-dong, et al	(11)
Application Research of Multiple Interpolation Algorithms Based on MATLAB in Surface Timing Monitoring	
..... GUO Rui, LI Su-min, CHEN Ya-nan	(18)
Progress on Research of Program Synthesis	
..... ZHANG Yin-zhu, Dong Wei, LIU Bin-bin	(25)
Design of Self-service Dining System for Mobile Phone	
..... HUANG Cheng-mou, SHI Jian-lan	(31)
Research on Fair Dispatching Method of New Energy Power Station Based on IAFSA-SFLA	
..... YANG Hai-zhu, KANG Le, YUE Gang-wei, et al	(35)
Construction of Teaching Management Platform in Medical Colleges Based on Digitalization and Informatization	
..... SUN Tian-chao, ZHAO Ruo-han, HONG Juan	(43)
Based on CityEngine 3D Virtual Campus Scene Design and Implementation	
..... MA Guang-ming, WANG Cong-hua, LI Li-ning	(46)
Stress Analysis of Human Femur Based on Material Attribute of CT Gray Value	
..... WANG Shuang, YANG Bao-jun, CHEN Guang-xin, et al	(51)
Design of Mobile Teaching System Integrated with iBeacon Technology	
..... PENG Yi-hong	(56)
Automatic Segmentation of Thyroid 3D Ultrasound Images Based on An Improved DRLSE Model	
..... RAN Dong-mei, YAN Jia-yong, CUI Xiao-yao, et al	(61)
An Improved Backpressure Algorithm Based on TCP Congestion Control	
..... ZHAN Qing-jie, HAN Ren, ZHOU Hao-sheng	(67)
Reconstruction of Real 3D Models of Buildings Based on SketchUp	
..... WANG Tao, LIU De-jiang, YANG Li-yong, et al	(74)
Modal Analysis of Normal and Osteoporotic Femur Based on CT	
..... WANG Ru-liang, ZHANG Kai-xuan, HU Lin-lin, et al	(77)
Application of an Improved Watershed Algorithm on Medical Image Segmentation	
..... FAN Qun-zhen, WU Hao, LIN zhen	(81)
Stress Analysis And Experimental Study of Prefabricated Skewed Hollow Slab Bridge	
..... YANG Jing-jing, LI Rui, XU Zheng, et al	(84)
Research on Collaborative Innovation Mechanism of College Teacher Staffs in Network Virtual Academic Community	
..... DU Jun-lian	(88)
Design and Implementation of Intelligence Education Platform Based on Regional Sharing	
..... PU Zai-yi	(91)
Carotid Artery Segmentation Based on Center Point Tracking of Regional Features	
..... LI Yan-hong, LIU Jie, WANG Jun-jie	(94)

Research on Rotation of X-ray Gastrointestinal Diagnostic Table Based on SCM Control	
.....	ZHANG Min-yan, WANG Ya-nan, LI Shang, et al (100)
Design of Power Control Method For Wireless Communication Transmission	
.....	AN Zhong-wen, SHI Li-feng, HAO Xiao-qiang, ZHANG Hua-jian (103)
Research on Maturity Assessment Model of Data Management Capability of Power Grid Enterprises	
.....	MA Wen, ZHANG Xin-yang, ZHAO Xiao-ping (108)
Optical Transport Network (OTN) Operation and Maintenance Research and Practice in Power Communication Network	
.....	LI Li, CHEN Chan, CHEN Yan-yu, et al (112)
Introduces A Distribution Network Topology Description Method in the Application of the Fault Location	
.....	WANG Kun, CHEN Lei (116)
Evaluate System for Capacity of Electrical Connection Power Metering	
.....	JIA Hong-wei, LIANG Yong-chang, LIU Yan (120)
Research on a Second-order Cone Reformulating Problem of CDT Problem	QU Yan-ming (124)
The Challenge of Artificial Intelligence Algorithm to Patent Protection Policy and the Response	
.....	WANG Li-shi, YU Xing-zhou, SONG Jie, et al (128)
The Research of Path Testing in Doftware Business Process Based on Genetic Algorithm	
.....	XIA Liang, SHANG Wei, WANG Zhao-xing (133)
Call Center Develops WEB Interface Based on IVR	XIAO Jian (140)
User-generated Text Punctuation Labelling Based on Linear Chain Conditional Random Field	
.....	SU Xiao-bao, LIU Chen, TANG Li (145)
Research on Application of Wavelet Transform in Deformation Monitoring	YUAN Zhi-hua (150)
The Functional Law of the Iterated Logarithm of the Sojourn Time Progress For A Two-stage Tandem Queue	
.....	ZHANG Yu-yan (154)
Research on Crowdsourcing Learning Model Based on Matrix Filling	LIU Tian-shi, WU Qiong (159)
Nonlinear Clinical Study of Umbilical Artery Blood Flow Signal	YU Kai-jun, XU Zi-fei, LI Chun (162)
The Construction of Learner Ontology Based on Online Learning Behavior	ZHANG Zi-yu, LI Yu-bin (168)
On the Application of CATIA in Product Design	ZHU Dan-qing, YAN Dong (175)
Probe into the Teaching Reform of Computer Network Course Under the Concept of New Subject	
.....	DAI Wei-min (179)
Python-based Crawler Analysis of Sina Weibo	DU Xiao-xu, JIA Xiao-yun (182)
Design and Research on Teaching Resources Semantic System Based on Noumenon and Jena Module	
.....	HUANG Yi-bao (186)
FPGA-based Elevator Controller	WU Xue-yan (190)
University Laboratory Research Under Big Data Backgroud	WANG Hao (196)
Application Analysis of Artificial Intelligence in Computer Network Technology	XI Wen-ke (199)
Optimized Design of Computer Network Reliability	XU De-xiang (203)
Application of Cloud Computing Technology in Intelligent Campus Construction	
.....	YAN Shi, FU Jia, WANG Xiao-li, et al (207)
An Analysis Method of Radar Initial Data Through ATC Centralized Monitoring System	ZHAO Ze (210)
Research of App Cross-platform Hybrid Development Technology Based on Ionic	
.....	CHANG Zhen-ye, LIU Jia-wei, YAN Xi-xi, et al (215)
Comparative Study on Block Chain Consensus Algorithms	CHEN Ding-le (219)
Application of Convolutional Neural Network in Case Classification	
.....	LI Hao-quan, SHI Meng-fan, CHEN Shu-nan, ZHANG Jun-yang (222)

软 件

Computer engineering & Software

软 件
(月 刊 1979 年创刊)
第 40 卷 第 4 期 总第 468 期 2019 年 4 月

SOFTWARE
(Monthly, Established in 1979)
VOL.40 No.4 Series NO.468 Apr. 2019

主管单位：中国科学技术协会
主办单位：中国电子学会 天津电子学会
社 长：王东江
副 社 长：丁金婵
副 总 编：秦玉新
副 主 编：何炎祥 卢 苇
主 任：高 岚
编 辑：曾致远、张家光、李明建
编 辑：《软件》编委会
出 版：《软件》杂志社
总 发 行：天津市河西区环湖中道 9 号
发行范围：国际国内公开发行
邮 编：300060
投稿邮箱：cosoft@vip.163.com
咨询电话：022-59669755
服务电话：400-151-9718
国外发行代号：M8992
国内定价：RMB30 元
国外定价：U.S. \$ 8 元
港台定价：HK \$ 30 元
国际标准刊号：ISSN1003-6970
国内统一刊号：CN12-1151/TP
协办发行：中科鼎盛科技发展（北京）中心
广告许可证：工商广字 1201014000106
网 址：www.ccomsoft.com

Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Chinese Institute of Electronics Tianjin
Institute of Electronics
President: WANG Dong-jiang
Vice Editor-in-General: QIN Yu-xin
Managing Director: YI Dan
Edited by: Editorial Board of Software
Published by: Software Press
Communication Address: P.O.Box 3108, Beijing 100044, China
E-mail: cosoft@vip.163.com
Tel: 400-151-9718
Distribution: Both at Home and Abroad
Overseas Distributor: China International Book Trading
Corporation P.O.Box 399,
Beijing, 100044, China
(Code No. M8992)
Subscription
Foreign User Monthly Price: U.S. \$ 8
CSSN
ISSN1003-6970
CN12-1151/TP
Advertising License: NO1201014000106
<http://www.ccomsoft.com>
Copyright © 2011 Published by The Software Press . All rights reserved.
Special Statement All articles published in this journal represent the viewpoints of the authors except where indicated otherwise.

声明：为实现科技期刊发展趋势和我国信息化建设需要，扩大交流渠道，实现期刊编辑、出版、发行的电子化，网络化，《软件》杂志等国内外数据库收录，凡在我刊投稿并被录用的稿件文章，一律由编辑部统一纳入以上期刊网和数据库，有不同意见者，特别声明，文责自负，本刊所发文章不承担任何连带法律责任，不再另付上网服务报酬。如有印刷质量问题请与发行部联系调换。

基金项目论文

软件化雷达系统的软件质量评估指标体系

曾乐天^{1,2*}, 赵龙飞¹, 杨春晖¹, 赵跃龙², 黄茂生¹

(1. 工业和信息化部电子第五研究所 软件质量工程研究中心, 广州 510610;

2. 华南理工大学 计算机科学与工程学院, 广州 510640)

摘 要: 为有效评估软件化雷达 (software defined radar, SDR) 系统的软件质量, 建立了软件质量评估指标体系总体架构, 给出了各评价指标的概念定义和评测方法。首先介绍了 SDR 的概念内涵、体系架构和典型特征。然后, 在对系统软件进行分类的基础上, 结合现有的软件质量评估指标, 增加反映 SDR 系统典型特征的指标, 并从功能性、可靠性、易重构性、合规性等 8 个方面, 对系统软件的各项指标进行探讨, 为业内同行进一步开展相关研究工作提供有益的参考。

关键词: 软件化雷达; 软件质量; 软件分类; 评估指标体系; 易重构性

中图分类号: TP311.5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1003-6970.2019.04.001

本文著录格式: 曾乐天, 赵龙飞, 杨春晖, 等. 软件化雷达系统的软件质量评估指标体系[J]. 软件, 2019, 40(4): 01-06

Evaluation Index System for Software Quality of Software Defined Radar (SDR) Systems

ZENG Le-tian^{1,2*}, ZHAO Long-fei¹, YANG Chun-hui¹, ZHAO Yue-long², HUANG Mao-sheng¹

(1. Software Quality Engineering Center, The fifth electronic research institute of Ministry of Industry and Information Technology, Guangzhou 510610, China; 2. School of Computer Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

【Abstract】: To effectively evaluate the software quality of the software defined radar (SDR) system, the evaluation index system of SDR is constructed. Meanwhile, the concepts along with evaluation methods for each index are given. Firstly, the conceptual connotation, features and architecture of SDR are described. Based on the classification of software in the SDR system and available evaluation indexes of software quality, the indexes that reflect the features of SDR are added and the evaluation index system is constructed from eight aspects, such as functionality, reliability, reconfigurability as well as compliance. Moreover, each of the evaluation indexes is discussed in order, providing helpful suggestions for industry peers in further associated research work.

【Key words】: Software defined radar (SDR); Software quality; Classification of software; Evaluation index system; Reconfigurability

0 引言

“软件化雷达”^[1-6]概念最早由美军在 2010 年提出, 即雷达系统功能可软件定义。软件定义技术^[7]的本质是硬件资源虚拟化, 管理功能可编程, 即硬件资源抽象为虚拟资源, 然后用系统软件对虚拟资源管理和调度。SDR 是采用“平台+”战略思想, 尽可能使用软件, 最大化发挥软件效能, 通过软件

灵活实现系统功能定义、资源配置、模式扩展和性能提升, 以满足多种实际需求, 更好地服务于应用。相对于模拟雷达和数字化雷达, 其优势主要体现在雷达设计和功能升级扩展时更新软件的便捷性和低成本。保障系统软件的质量^[8-10], 是保障 SDR 系统的功能、性能等正常发挥的关键。因此, 对 SDR 系统的软件质量做出科学、准确评估, 是值得深入研究的课题。

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(2017M622621)

作者简介: 赵龙飞(1989-), 男, 工程师, 主要从事雷达软件测试研究; 杨春晖(1965-), 女, 研究员级高工, 主要从事软件测试、质量与可靠性研究; 赵跃龙(1958-), 男, 教授, 主要从事智能信息处理系统、计算机应用研究; 黄茂生(1973-), 男, 高级工程师, 主要从事软件测试, 软硬件及系统可靠性研究。

通讯联系人: 曾乐天(1988-), 男, 博士, 主要研究方向: 雷达成像、雷达软件测试、质量与可靠性。

文献[11-13]详细介绍了基于系统与软件质量要求和评价的软件质量评价框架^[11-13],然而,针对 SDR 系统软件的质量评估指标体系,却鲜见研究。

本文首先介绍 SDR 技术的体系架构,在此基础上,对 SDR 技术进行深入分析,并对 SDR 的系统软件进行分类。然后,从功能性、可靠性、易用性、效率、维护性、可移植性、易重构性、合规性 8 个方面,进行综合评估,给出了系统软件质量评估指标体系总体架构,并对 SDR 系统软件质量的评估进行探讨,并为业内同行进一步开展相关研究工作提供有益的参考。

1 SDR

本部分主要介绍 SDR 的内涵、体系架构与实现方法,以及典型特征。

1.1 概念内涵

SDR 是以开放式体系架构为基础,采用面向应用的开发模式,通过软件定义技术实现系统功能扩展的新一代雷达。需要说明的是,在 SDR 中,由软件实现的功能点较多,这就要求雷达软件化水平必须与软件技术水平相适应。SDR 的本质是通过软件实现对硬件和操作流程的精准控制,从而达到系统功能的软件定义这一目标。而 SDR 技术是一种设计理念,一种平台基础技术而非应用技术,无法直接提高雷达装备作战性能,但可以通过硬件重组和软件重构,快速应用新技术,省时省力地研制出高易用性、易于升级扩展的雷达。SDR 技术面向的是雷达装备研制问题,落实到某一款具有不同使命任务的雷达,其目标就有所不同。

国外 SDR 经历从概念架构、演示验证到应用推广的发展阶段,已成功应用于合成孔径雷达。目前,国内软件化的雷达还处于起步阶段,雷达的信号产生和处理几乎都靠软件来实现,雷达的功能扩展性得到较大提高,但硬件平台的通用化、软件的通用性及可移植性仍然处于初级阶段,尚未形成统一的标准。SDR 的硬件呈现出标准化、模块化、系列化的趋势,尽可能使用商用货架产品代替定制的构件产品,以便第三方技术能够广泛应用。

SDR 主要包括天线、数字波束形成、信号处理、数据处理、显示终端 5 个部分,如图 1 所示。其中,可以软件化实现的有数字波束形成、信号处理、数据处理,而天线、终端等硬件设备则不能通过软件化实现。

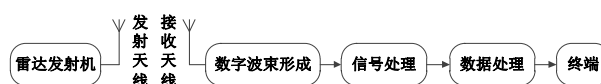


图 1 SDR 系统基本概念图

Fig.1 Basic concept of SDR system

SDR 的真正难点在于前端,具体来说,在于难以构建适用于多种体制的通用天线。例如,预警雷达与合成孔径雷达工作机理不同,天线形状、尺寸差别较大,难以实现同时适用于上述两种体制的通用天线。当前的解决办法是天线的模块化,将不同体制的天线做成不同的天线模块,当需要使用某种体制的天线模块时,选择相应的天线模块即可。

在信号处理部分,通常将特定的算法程序烧写到相应的处理板卡内,整个过程与硬件耦合紧密,且需要定制板卡,通过采用严格界定功能和接口形式,逐步推进标准化和模块化;对于软件组件,在实施过程中逐步确定各个组件间数据传递信息内容和信息表达格式规范,修正组件封装模板,实现应用层面的软硬件解耦和复用。

在数据处理部分,亦可通过操作系统等中间件实现软硬件解耦。现有的 SDR,重点提升 SDR 的数字后端能力,其软件化水平主要体现在后端的软件重构上,即不同功能软件构件的即插即用。

此外,SDR 隐含了一个假设,即硬件有足够的执行能力 100% 执行软件发出的指令。这对硬件性能提出了很高的要求,在雷达软件开发时不需过多的关注硬件性能对软件和系统的影响。在实际中,SDR 的瓶颈恰恰在于硬件。

1.2 体系架构

SDR 体系架构包括 3 个组成部分:硬件平台、雷达操作环境和应用层组件,SDR 系统采用分层解耦的思想,分为硬件层、系统层、抽象层、架构层和应用层 5 个层次,如图 2 所示。



图 2 SDR 体系架构

Fig.2 System architecture of the SDR

硬件平台主要由数字信号处理资源和雷达天线阵面组成。数字信号处理资源,如数字信号处理器、

可编程逻辑门阵列、微处理器等,可重构计算资源,并可扩展处理能力。采用模块化设计构建雷达天线阵面,可重构阵面孔径^[5]。

雷达操作环境主要由硬件抽象、平台抽象、核心架构 3 部分组成,涉及系统层、抽象层和架构层。其中,硬件抽象属于系统层,包括操作系统、驱动程序、内部处理器通信模块等,用于实现 SDR 系统资源的调度与管理,为不同应用提供相应的雷达天线阵面和计算资源;平台抽象属于抽象层,采用统一软硬件描述语言、通讯协议等对接口进行定义和描述,并确定统一的接口规范;核心架构属于架构层,包括实时处理框架、并行计算框架、数据分发与通讯架构等,负责通讯,并为上层应用提供统一的、开放的应用程序接口。系统层、抽象层和架构层之间的独立性很高,抽象层和架构层统称为中间件,雷达操作环境通过管理、通信等中间件来解耦软硬件,并为上层应用组件提供统一的接口和操作环境,是 SDR 技术的核心部分。

应用组件包括波束形成、信号处理、数据处理、综合显示和配置管理等模块,根据雷达系统的不同需求,选用不同的模块,以实现探测、干扰、侦察、通信等多功能、多任务为目的。应用层组件采用模块化设计,通过建立统一的标准接口、调用方式等规范,与架构层进行通讯,其自身具有可独立升级和修改、即插即用的特点,确保“功能重组”能力。在应用组件的开发过程中,可以吸引大量的高水平企业参与应用层组件的研发,吸收优秀的商用成果,同时,博采众长,促进高新技术企业之间的强强联合,形成应用层组件的第三方技术集成、多样化供应商供货及可替换单元量产的模式。

1.3 典型特征

SDR 可看作在开放式体系架构^[1]基础上通过软件实现系统功能扩展、重构的,其中,开放式体系架构是实现 SDR 的基础。SDR 的技术特征主要包括如下 3 个方面:(1)开放式体系架构;(2)软硬件解耦;(3)功能性能软件化。

1) 开放式体系架构

开放式体系架构具有如下特点:(1)基于雷达系统功能分解和雷达工作机理、软硬件资源开放的层次化模块化结构;(2)组成雷达系统的各分系统遵循标准的接口规范,以一种可预测的方式进行交互,单个子系统或组件即使被替换也不会影响到系统其它部分;(3)硬件模块化、标准化、系列化,并充分利用商用货架产品;(4)软件的通用化,采

用独立于硬件设备的应用软件,提高了软件的通用性和可维护性;(5)引入了智能机制,分系统可以产生自身的控制信息并自行驱动,各个模块的测试和控制就能在整个系统集成之前进行。

2) 软硬件解耦

软硬件解耦的含义是包括两个方面:(1)同一套组件可在不同平台下正常工作,不依赖于具体平台,即代码具有可移植性,可在不同操作环境之间进行转换;(2)以功能为导向,在架构层上可插入实现不同功能的应用组件,即可实现功能扩展。对于应用组件来说,只需定义好标准的接口规范,而无需关注接口以下由不同层构成的雷达操作环境。SDR 通过操作环境、通用软件设计规则和逻辑设备来解耦软硬件。统一开放的操作环境为上层应用的开发提供统一的、开放的应用程序接口;基于面向对象技术和中间件技术,使用接口定义语言对接口进行定义,使用统一建模语言对接口进行描述;基于商用标准和货架产品,确定统一的通用硬件规范。

3) 功能、性能软件化

功能、性能软件化是指雷达可通过该软件定义来扩展功能,提升性能。通常,SDR 从应用角度考虑,更关注应用功能、系统功能本身,强调能做出更好的应用,而不关心采用何种算法实现。软件模块可由第三方开发,促进了第三方应用程序的广泛应用。此外,通过引入市场竞争机制,择优选取高性能、易于集成的产品,使得高品质软件能够强强联合使用,发挥出最大的效益,以便快速适应需求,有效扩展能力。

2 SDR 系统软件分类

SDR 实现的前提是硬件完全能够满足软件的需求。此时,系统功能基本上取决于运行其上的系统软件,加载雷达软件即为雷达设备。在前端,软件主要起逻辑控制的作用。信号处理和数据处理是 SDR 系统的核心组成部分,软件主要集中在信号处理、数据处理、显示控制等后端处理模块。因此,可将 SDR 系统软件主要分为四类:

1) 前端控制类软件,包括波束/时序控制软件、系统校准软件以及系统自检软件等;

2) 信号处理类软件,对目标回波数据进行检测、预处理等操作,如点迹提取、线内相关;

3) 数据处理类软件,实时接收信号处理类软件的结果,并进行航迹维护、融合等工作并将航迹发送至下一处理程序中;

4) 后端显控类软件, 如人机交互软件, 将接收的信息在界面显示出来, 并对雷达系统下发控制指令。

3 软件质量评估指标体系

本部分以软件为核心, 以软件产品质量指标为基础, 增加反映 SDR 系统典型特征的指标, 提出 SDR 系统软件评价指标的概念定义、评测方法和标准, 构建 SDR 评估指标体系的总体框架, 如图 3 所示。

3.1 功能性

当系统软件在特定的使用条件下, 提供满足明确需求和隐含需求功能的能力。

1) 适合性

系统软件为特定的任务和用户目标提供一系列合适功能的能力。

2) 准确性

系统软件提供满足精度要求的、正确的或者相符的结果/效果的能力。

3) 互操作性

系统软件与一个或多个规定系统进行交互的能力。

4) 安全保密性

系统软件保护信息和数据的能力, 使得未经授权的人员或系统不能阅读或修改这些信息和数据, 并接收授权人员或系统对它们的访问。此外, 当 SDR 在执行任务时, 如遇特殊情况, 如战机在敌占区迫降, 为了保证高新技术不致被敌方获取, 可以启动安全自毁程序, 使 SDR 中的高精尖系统得以迅速自毁, 达到先进技术不外泄的目标。

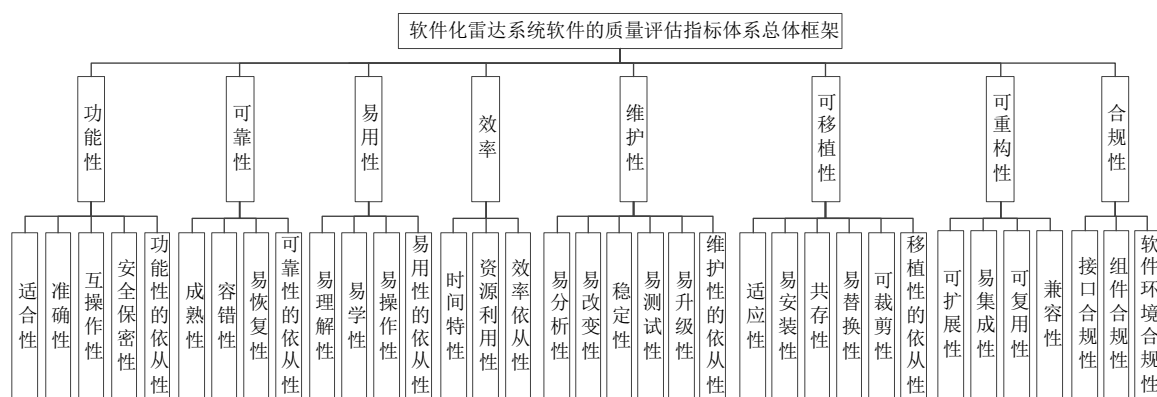


图3 SDR系统软件的质量评估指标体系总体框架

Fig.3 Overall architecture of quality evaluation index system for the software of SDR

5) 功能性的依从性

系统软件遵循与功能性相关的标准、约定或法规以及类似规定的的能力。

3.2 可靠性

在特定条件下使用时, 系统软件维持规定性能级别的能力。

1) 成熟性

系统软件为避免由软件中的故障而导致失效的能力。

2) 容错性

在软件出现故障或者违反其特定接口的情况下, 系统软件维持规定性能级别的能力。

3) 易恢复性

当失效发生的情况时, 系统软件重建规定的性能级别并恢复受直接影响的数据的能力。可用软件产品失效时间的长短来评估 SDR 系统的易恢复性。

4) 可靠性的依从性

系统软件遵循与可靠性相关的标准、约定或法规的能力。

3.3 易用性

在特定条件下使用时, 系统软件被理解、学习、使用和吸引用户的能力。

1) 易理解性

系统软件使用户能理解其是否合适以及如何能将其用于特定的任务和使用条件的能力

2) 易学性

系统软件使用户能学习其应用的能力。

3) 易操作性

系统软件使用户能操作和控制它的能力。

4) 易用性的依从性

系统软件遵循与易用性相关的标准、约定或法规的能力。

此外，SDR 系统软件对用户愉悦、美感的需求不如移动 APP 强烈。

3.4 效率

在规定条件下，相对于所用资源的数量，系统软件可提供适当性能的能力。

1) 时间特性

在特定条件下，系统软件执行其功能时，提供适当的响应、处理时间以及吞吐率的能力，如处理单个任务所消耗的时间、处理并行任务的能力。此外，由于许多 SDR 系统软件为实时控制软件要求较强的实时性，且其执行结果的正确性与程序逻辑计算的输出、程序执行的先后次序等时间因素密切相关。例如，雷达系统信号处理软件必须对回波数据实时解算，以检测出目标，即运算必须在一个有效周期内完成。

2) 资源利用性

在规定条件下，系统软件执行其功能时，使用合适数量和类别的资源的能力。

3) 效率依从性

系统软件遵循与效率相关的标准或约定的能力。

3.5 维护性

系统软件可被修改的能力，其中，修改的内容包括改进软件，软件对环境、需求和功能规格说明变化的适应。

1) 易分析性

系统软件诊断其缺陷、失效原因或者识别待修改部分的能力。

2) 易改变性

系统软件使指定的修改可以被实现的能力。

3) 稳定性

系统软件避免因修改而造成意外结果的能力。

4) 易测试性

系统软件使已修改软件能被确认的能力。在 SDR 中，测试模块将成为 SDR 系统本身的一部分，能够支持测试用例的自动批量执行，并对 SDR 统应用软件进行功能、性能、实时性、可靠性等测试，覆盖雷达典型故障场景。

5) 易升级性

系统软件为满足用户需要而发生变化、但保持继续工作的能力。通常，系统软件不仅可在升级后的条件下正常工作，还具有实际的优势，如性能的改善。SDR 系统的升级，在很大程度上是软件的升级。由于软件的比重很高，其易升级性将变得极为

重要。

6) 维护性的依从性

系统软件遵循与维护性相关的标准或约定的能力。

3.6 可移植性

系统软件从一种环境迁移到另外一种环境的能力。SDR 系统通过中间件技术，完成底层硬件和应用层软件的解耦，支持应用层软件直接迁移到不同的硬件平台和操作系统。

1) 适应性

系统软件无需采用额外的活动或手段即可适应不同指定环境的能力，如应用软件的跨平台可移植性。

2) 易安装性

系统软件在指定环境中被安装的能力。

3) 共存性

在公共环境中，系统软件同其他与其分享公共资源的独立软件之间共存的能力。

4) 易替换性

系统软件在同样环境下，替代另一个相同用途的特定软件产品的能力，即能够支持第三方商业软件的快速应用。

5) 可剪裁性

各种应用系统在具有开放结构特性的各种系统间进行移植，且在高性能机上运行的应用系统经过裁剪后可在低性能机上运行。

6) 可移植性的依从性

系统软件遵循与可移植性相关的标准或约定的能力。

3.7 易重构性

在统一的运行环境下，SDR 系统软件可以根据任务需求动态配置和执行不同的雷达应用软件，实现不同的功能，完成不同的任务。

1) 可扩展性

软件支持第三方按照设计标准进行二次开发和改造升级，且允许处于相同层次或者不同层次的所有软件模块代码修改能够平稳地发生，而不会影响或者波及到其它软件模块。

2) 易集成性

SDR 系统软件的易集成性包括探干侦通一体化的多功能、多任务集成，基于组件库的增量式集成，实现不同供应商软件产品优势的强强联合。

SDR 装备在研制过程中应允许更多的技术单位参与，使得优化集成后的系统总体性能和功能将有

可能得到进一步提升。此外,可以通过强强联合,集中优势力量,生产出优质产品。因此,以集成为核心,吸引大量高水平企业参与的模式,可最大程度优化系统的功能和性能。SDR 集成能力可从集成开发环境技术、各分系统软件的横向集成能力,各分系统软件的纵向集成能力,性能性价比的高低、集成总体单位在管理和配置资源方面的能力、供应商的数量及技术水平等 6 个方面来综合考量。

3) 可复用性

可复用性是指系统软件具有可以多次使用的特性,以便获得较高的生产效率和软件质量,同时降低软件成本降低,改善系统的可维护性。

4) 兼容性

在开放式体系架构下,SDR 的系统软件能稳定地工作在若干个操作系统之中,而不会出现意外的退出等问题。

3.8 合规性

SDR 的系统软件具有满足国际标准要求的特性,如雷达应用软件、软件环境等设计标准与规范,要求接口标准开放,支持第三方按照设计标准进行二次开发和改造升级等,以达到在雷达整体功能重构、组件化开发与集成、接口标准开放、统一通信体制、技术成果复用等方面的目标。

4 结束语

本文在介绍 SDR 的概念内涵、体系架构和典型特征的基础上,从功能性、可靠性、易用性、效率、维护性、可移植性、易重构性、合规性 8 个方面,构建 SDR 系统软件的质量评估指标体系,并对 SDR 的各项评估指标进行了详细探讨,为业内同行进一步开展相关研究工作提供有益的参考。鉴于软件在系统中的比重较高且 SDR 系统的功能由软件来实

现,如何对 SDR 系统的软件进行高效、充分的测试与验证,将是下一步研究工作的重点。

参考文献

- [1] 汤俊,吴洪,魏鲲鹏. “软件化雷达”技术研究[J]. 雷达学报, 2015, 4(4): 481-489.
- [2] Darymli K E, Hansen N, Dawe B, et al. Design and implementation of a high-frequency software-defined radar for coastal ocean applications [J]. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2018, 33(3): 14-21.
- [3] Pfeffer C, Jahn M, Feger R, et al. A software defined radar platform for mm-wave sensing applications [C]: //2014 11th European Radar Conference. Italy: IEEE, 2014: 281-284.
- [4] Kwag Y K, Jung J S, Woo I S, et al. Modern software defined radar (SDR) technology and its trends [J]. Journal of Electromagnetic engineering and science, 2014, 14(4): 321-328.
- [5] 张荣涛,杨润亭,王兴家,等. 软件化雷达系统技术综述[J]. 现代雷达, 2016, 38(10): 1-3.
- [6] 乌日力格,艾文宝. 基于空时自适应处理技术的雷达相位编码的研究[J]. 软件, 2015, 36(9): 25-28
- [7] Mei Hong, Huang Gang, Cao Donggang, et al. Perspectives on software-defined from software researchers[J]. Communications of CCCF, 2015, 11(1): 68-71.
- [8] 邱婷,盛威,敬敏. 机载雷达软件质量问题分析与应用研究[J]. 现代雷达, 2018, 40(11): 86-90.
- [9] 张琪. 大数据背景下软件测试的挑战与展望[J]. 软件, 2018, 39(6): 181-183.
- [10] 颜乐鸣. 基于工作流的软件测试过程模型研究[J]. 软件, 2018, 39(5): 160-165.
- [11] 翁秀木. 一个通用的软件质量评估指标体系[J]. 软件, 2015, 36(3): 59-63.
- [12] 陈鑫. IMA 构架下应用软件集成测试环境搭建方法[J]. 软件, 2015, 36(7): 132-135.
- [13] Nakai H, Tsuda N, Honda K, et al. A SQuaRE-based software quality evaluation framework and its case study [C]: //2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON), Singapore: IEEE, 2016: 3704-3707.