

基于多维高斯贝叶斯算法在雷达故障信息诊断系统应用

马景奕¹, 李奕澄², 金庆忠³, 杨斌¹

(1. 中国气象局气象干部培训学院甘肃分院, 兰州 730020;

2. 四川大学电气工程学院, 成都 610207;

3. 兰州资源环境职业技术学院, 兰州 730020)

摘要: 为提升雷达故障信息的诊断效率, 节约执行故障诊断指令所需消耗的数据成本, 设计基于多维高斯贝叶斯算法的雷达故障信息诊断系统; 利用完整的框架结构设计客户机/服务器模式, 联合服务器与信息查询模块, 实现雷达故障信息诊断系统的体系结构搭建; 在此基础上, 计算故障信息的松弛度数值, 通过判定迭代门限的方式, 实现对多维系数信号的处理, 完成基于多维高斯贝叶斯算法的雷达故障信息感知; 联合已嵌入的雷达故障信息, 连接 Access 数据库, 实现诊断系统的接口技术研究; 综合上述所有理论依据, 设计基于多维高斯贝叶斯算法的雷达故障信息诊断系统; 借助 Windows 平台, 分别连接上述系统与远程故障诊断原型系统, 在雷达故障信息诊断系统的应用过程中得出, 基于多维高斯贝叶斯算法雷达故障信息诊断系统的诊断效率最大值为 45%, RSR 指标最大值为 16.7%, 指令执行消耗的数据成本较低, 表明所设计系统具有一定的实际应用性。

关键词: 多维高斯贝叶斯算法; 雷达故障; 信息诊断; 客户机; 信息查询; 信息松弛度; 迭代门限; Access 数据库

Application of Multidimensional Gaussian Bayes Algorithm in Radar Fault Information Diagnosis System

MA Jingyi¹, LI Yicheng², JIN Qingzhong³, YANG Bin¹

(1. Gansu Branch of China Meteorological Administration Training Centre, Lanzhou 730020, China;

2. College of Electrical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610207, China;

3. Lanzhou Resources & Environment Voc-Tech College, Lanzhou 730020, China)

Abstract: In order to improve the diagnostic efficiency of radar fault information and save the data cost required to execute fault diagnosis instructions, a radar fault information diagnosis system based on multidimensional Gaussian Bayes algorithm is designed. Use the complete frame structure to design the client/server model, and combine the server and the information query module to realize the architecture of the radar fault information diagnosis system. On this basis, the slack value of the fault information is calculated, and the multi-dimensional coefficient signal is processed by determining the iteration threshold, and the radar fault information perception based on the multi-dimensional Gaussian Bayes algorithm is completed. Combine the embedded radar fault information and connect to the Access database to realize the interface technology research of the diagnosis system. Based on all the above theoretical foundations, a radar fault information diagnosis system based on multi-dimensional Gaussian Bayes algorithm is designed. With the help of the Windows platform, the above-mentioned system and the remote fault diagnosis prototype system are respectively connected. In the application process of the radar fault information diagnosis system, it is concluded that the maximum diagnosis efficiency of the radar fault information diagnosis system based on the multi-dimensional Gaussian Bayes algorithm is 45%, RSR The maximum value of the index is 16.7%, and the data cost consumed by instruction execution is low, indicating that the designed system has certain practical applicability.

Keywords: multidimensional gaussian bayesian algorithm; radar failure; information diagnosis; client computer; information query; information slackness; iteration threshold; access database

0 引言

气象雷达是一种主动型大气微波遥感设备, 可被应用

于大气探测等多个实践领域之中, 在实际操作过程中, 气象雷达需要与无线电探空仪配套使用。常规雷达设备由电子计算机、图像传输主机、显示器、照相装置、定向天线、

收稿日期: 2021-03-09; 修回日期: 2021-04-28。

作者简介: 马景奕(1976-), 男, 甘肃兰州人, 硕士研究生, 副研级高工, 兰州大学大气科学联合研究中心理事, 主要从事气象雷达、人工智能、信息技术方向的研究。

引用格式: 马景奕, 李奕澄, 金庆忠, 等. 基于多维高斯贝叶斯算法在雷达故障信息诊断系统应用[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(7): 11-15, 30.

天线控制器、接收机、发射机等多个部分组成,作为气象环境监测的重要应用元件,在预警报警、突发性处理等方面具有极强的实践性价值^[1-2]。近年来,由于 Web 技术的不断发展,气象雷达的应用与发展开始逐渐受到各行各业的重视。随着 Internet 远程协作模式的不断完善,本地计算机可通过网络系统直接记录气象雷达的运行轨迹,并可在监视与控制设备的作用下,实现对相关数据信息的调试与分配。

由于外界气象环境的多变性影响,地面控制主机对于气象雷达故障信息的诊断效率会出现明显下降的变化趋势,从而导致故障诊断指令执行所需的数据消耗成本大幅上升。远程故障诊断系统通过协同化服务模式,处理系统数据库内暂存的雷达故障信息数据,再借助以太网主机实现对待传输参量的按需调度。然而此系统的实际执行能力有限,并不能完全消除故障信息对气象雷达探测结果所造成的影响。为解决此问题,设计基于多维高斯贝叶斯算法的雷达故障信息诊断系统,在硬件体系框架的支持下,建立完整的客户机/服务器模式,再借助服务器与信息查询模块,实现对多维系数信号的实时处理。

1 雷达故障信息诊断系统的体系结构

雷达故障信息诊断系统的硬件体系结构由核心框架、客户机/服务器模式、服务器、信息查询模块四部分共同组成,具体搭建方法如下。

1.1 系统设计框架

由于气象雷达设备的应用复杂度水平持续提高,故障信息的诊断维护难度也随之增大,且这些设备的分布范围相对较为广泛,很多情况下,针对各种故障行为,系统应用主机并不能及时作出有效诊断。新型雷达故障信息诊断系统在多维高斯贝叶斯算法的支持下,建立完善的诊断服务中心,可体现诊断判别指令的敏捷性与有效性^[3]。整个诊断系统由雷达现场工作站、诊断中心两部分共同组成,可在维持气象雷达设备正常探测能力的同时,向相关行为主机提供准确的故障信息诊断意见,具体结构如图 1 所示。当雷达设备出现故障行为时,诊断中心会自动下达诊断服务指令,且现场工作站在接收到这些数据信息指令后,会协助其进行下一步的故障信息判别。雷达现场工作站能够对应用设备进行准确的监控与预报,并且具有一定强度的诊断与分析能力,可独立处理简单的故障问题^[4]。而当雷达设备出现严重故障行为时,因特网将自动发起诊断服务请求,在确定故障诊断中心与现场测试仪间的连接关系趋于稳定后,开始对雷达故障信息的传输与反馈。

1.2 客户机/服务器模式

系统客户机/服务器模式的诊断原理是通过合理分配的方式,将雷达故障信息整合成统一的传输数据包,再遵照 Internet 网络的连接需求,将这些信息参量反馈至内、外部服务器主机中。在系统对外服务器的对应信息诊断模式中,客户机结构直接与系统防火墙与路由器相连,可借助交换

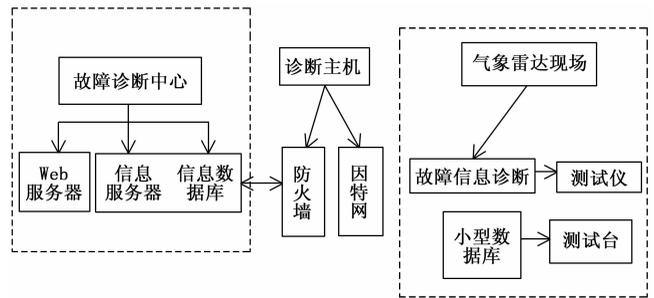


图 1 系统框架结构

机设备确定外部雷达工作站中故障信息的实际传输情况,再将其转换成文本信息,存储于系统数据库主机中。系统对内服务器对应信息诊断模式中的服务器结构,只负责管理与之关联的内部雷达工作站^[5]。与外部雷达工作站不同的是,内部雷达工作站的记录能力有限,仅能分析待传输气象探测信息的应用有效性,可在满足多维高斯贝叶斯算法处理需求的同时,改变已存储故障信息文本的存储形式,并从中提取相对有用的数据文件,以供系统其他硬件执行设备的调取与利用。系统客户机/服务器诊断模式示意图如图 2 所示。

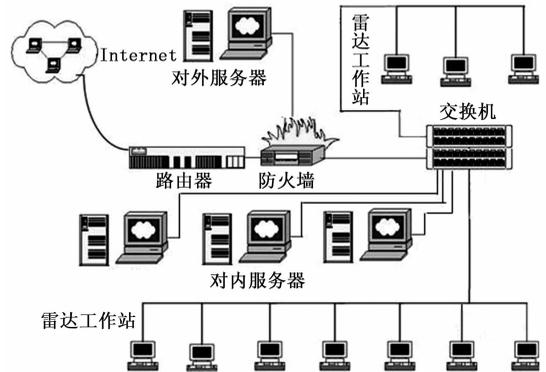


图 2 系统客户机/服务器诊断模式

1.3 服务器

服务器是雷达故障信息诊断系统的主要组成元件之一,它能够直接面向客户机/服务器主机,对相关数据与信息接口进行管理,从而生成全新的系统信息显示界面。在多维高斯贝叶斯算法作用下,服务器始终保持原有的 Windows NT 形式,且考虑到气象雷达故障信息的跨平台传输特性,诊断系统在后续应用过程中需要兼顾到数据传输文件的扩展性与实践性,可利用 Java 语言对这些信息参量进行编程处理,一般情况下,完成编码后的数据传输文件可直接存储于 SQL Server 7.0 数据库结构体之中^[6]。由于客户机/服务器模式的限制性影响,系统服务器必须以应用环境中的 Internet 网络作为核心搭建依据,一方面需要在诊断雷达故障信息参量的同时,设置全新的节点连接标准,另一方面需要根据气象雷达现场的实际应用现状,对系统环境中的现有故障行为进行精准判断,从而实现对 Intranet 网关内 IP 地址协议的分配与部署^[7]。

1.4 信息查询模块

信息查询模块的功能是完成系统的故障信息学习过程, 所采用方式包括数据分析、实例推理、多维网络环境构建等多种, 可通过学习行为推广的方式, 实现对已存储气象雷达故障信息参量的修改、添加与删除。待查询信息的获取方式有人工获取、非人工获取、自动获取、非自动获取四种^[8]。随着多维高斯贝叶斯算法作用能力的增强, 信息查询模块可在结合气象雷达现场维护经验的同时, 借助互联网调取大量的文件信息参量, 再通过雷达手册, 对这些数据信息进行加工与分析。在系统应用环境中, 信息查询模块的连接始终遵循 Access 数据库中故障信息的事实表单, 且由于因特网框架的存在, 查询模块结构体可准确定义故障信息之间的实际连接关系, 并可通过人工诊断与机械诊断相结合的方式, 实现对气象雷达故障行为关系的准确排查^[9]。因此, 信息查询模块的引入大大提高了雷达故障信息的诊断与查询效率, 也可在执行过程中体现 SCADA 诊断程序的实际应用价值。信息查询模块的结构示意图如图 3 所示。

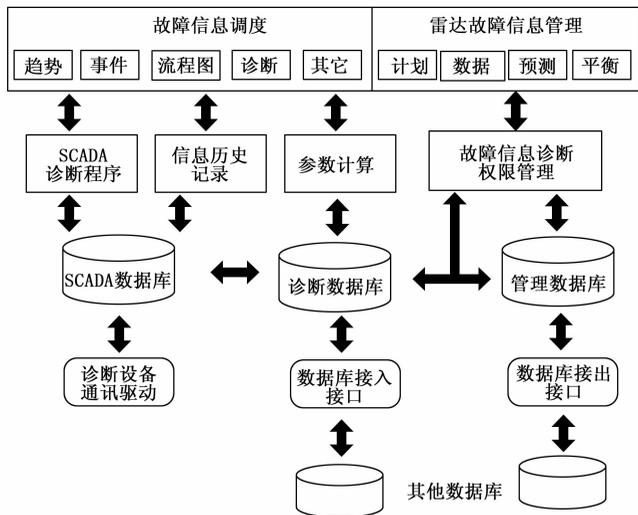


图 3 信息查询模块的结构示意图

2 基于多维高斯贝叶斯算法的雷达故障信息感知

在相关硬件体系结构的支持下, 按照信息松弛度计算、迭代门限判定、多维系数信号处理的执行流程, 实现基于多维高斯贝叶斯算法的雷达故障信息感知。

2.1 基于多维高斯贝叶斯算法的信息松弛度计算

信息松弛度计算的主要思想是通过线性规划的方式, 解决诊断系统内的气象雷达故障优化问题, 从而实现对雷达故障信息信号的重构处理。这一类方法主要包括有噪声环境下的故障信息数据分辨、无噪声环境下的故障信息数据分辨, 除了原始的噪声库匹配权限外, 还需要对多维高斯贝叶斯算法进行详细分析, 以解决相关指数参数的主动性差的问题^[10]。

采用维高斯贝叶斯算法将有噪声与无噪声环境下的数

据进行信息匹配, 有噪声环境是指雷达故障信息所处的非平静传输背景, 一般情况下, 满足该形式的故障诊断指令具备较强的抗干扰能力, 可在混合文件中, 直接调取所需的数据信息参量, 并可在满足多维高斯贝叶斯算法的前提下, 将这些数据信息排列成松弛传输状态。无噪声环境是指雷达故障信息所处的平静传输背景, 一般情况下, 满足该形式的故障诊断指令抗干扰能力相对较弱, 很难在混合文件中快速调取所需的数据信息参量, 最终所排列出的数据信息松弛传输状态也只能保持混合状形式^[11]。设 x_1 代表有噪声环境下的信息松弛度, x_2 代表无噪声环境下的信息松弛度, C_1 、 C_2 分别代表有噪声与无噪声环境下的数据信息匹配权限。联立上述物理量, 基于多维高斯贝叶斯算法可将信息松弛度计算式定义为:

$$\begin{cases} x_1 = \frac{C_1 \frac{1}{\sqrt{K_1}} \sigma_1(q_1)}{C_2 \alpha_1} \\ x_2 = \frac{C_2 \frac{1}{\sqrt{K_2}} \sigma_2(q_2)}{C_1 \alpha_2} \end{cases} \quad (1)$$

式中, K_1 、 K_2 代表有噪声与无噪声环境下的故障诊断指令抗干扰强度值, σ_1 、 σ_2 代表有噪声与无噪声环境下的混合数据信息区分强度值, q_1 、 q_2 分别代表两个不同的雷达故障信息参量, α_1 、 α_2 代表有噪声与无噪声环境下的故障信息诊断权重系数。

2.2 迭代门限判定

迭代门限值可被用于恢复已被噪声影响的雷达故障信息数据, 其主要判别思想是在已知原信号稀疏度水平的前提下, 通过正向测量与反向测量相交的方式, 确定多维高斯贝叶斯算法的实际作用强度, 以此为基础, 从噪声环境中将待诊断的气象雷达故障信息数据完全分辨出来^[12]。针对不同的实际应用问题, 应当选取不同的门限判别函数值。值得一提的是, 在多维高斯贝叶斯算法的作用下, 迭代门限的判定值结果越大, 最终所获得的雷达故障信息诊断结果也就越精确, 反之则越模糊^[13]。假定在雷达故障信息诊断系统环境中, 既定数据节点只能与诊断服务器的一条有向边相连, 且随着信息数据复杂度水平的提升, 系统中所执行的诊断指令数值量也在逐渐增多。设 β 代表多维高斯贝叶斯算法的作用精度值, \bar{y} 代表单位时间内的雷达故障信息传输均值, χ 代表特征诊断系数, 联立公式 (1), 可将雷达故障信息诊断系统的迭代门限判定结果表示为:

$$P = \frac{x_1 + x_2}{(\sqrt{2\beta y^2})^x} \exp\left(-\frac{\|E - \mu \cdot k\|^2}{2f^2}\right) \quad (2)$$

其中: E 代表门限判别函数中故障信息的诊断参量预设值, μ 代表既定的故障信息特征诊断系数值, k 代表固定时长内的雷达故障信息数据诊断量, f 代表基于多维高斯贝叶斯算法的雷达故障信息诊断精度。

2.3 基于多维高斯贝叶斯算法的多维系数信号处理

多维系数信号处理的创新之处在于, 多维高斯贝叶斯

算法的权值选取是基于上一次迭代门限判定所得到的原始信息诊断估计结果，一般情况下，迭代门限判定结果越大，原始雷达故障信息诊断估计结果也就越精准，最终处理所得的多维信号也就越符合系统应用需求。一个较大的权重值，可使得系统在下次迭代处理中获得更为广泛的信号域空间，反之一个较小的权重值，则会使得系统在下次迭代处理中获得极为局限的信号域空间^[14-15]。采用这样的信号处理方式，可在临近信息节点间建立对应的配对关系，从而使得多维高斯贝叶斯算法能够直接作用于迭代门限的判定结果，一方面总结服务器、信息查询模块等多个硬件执行设备的实际应用能力，另一方面使得待诊断雷达故障信息在恢复性能上的应用价值得到有效提升。设 i_0 代表最小的系统信息多维处理条件， i_n 代表最大的系统信息多维处理条件， n 代表处理极值之间的数据信息存储差量，联立公式 (2)，可将多维系数信号处理结果表示为：

$$D = \int_{i_0}^{i_n} \frac{g \times P}{n \cdot |b_{\max}^{\lambda-1} - b_{\min}|} \quad (3)$$

式中， g 代表信号域空间内的雷达故障信息传输权限指标， b_{\max} 代表故障信息数据的最大特征参量， b_{\min} 代表故障信息数据的最小特征参量， λ 代表雷达故障信息的多维传输系数值。

3 诊断系统接口技术

按照雷达故障信息嵌入、Access 数据库连接的处理流程，实现雷达故障信息诊断系统的顺利应用。

3.1 雷达故障信息嵌入

雷达故障信息嵌入是诊断系统中最关键的数据处理环节，可凭借 CLIPS 等工具将文本参量规划成几个完整的空间区域，再借助多维高斯贝叶斯算法，对各个区域中的雷达故障信息进行按需提取，从而使系统人机界面呈现出相对稳定的显示形式^[16-17]。CLIPS 工具在执行系统开发指令时，可将所有雷达故障信息完全嵌入至高级编译语言中，而出于应用完整性考虑，在多维高斯贝叶斯算法的作用下，本系统借助 VC++ 软件实现对信息参量的混合编程处理。在实际处理过程中，由于迭代门限判别值、多维系数信号处理量等物理系数的影响，雷达故障信息的传输方向只能由初始节点指向终止节点，且随着多维高斯贝叶斯算法作用能力的增强，这些传输物理量只能在 Access 数据库中进行多次累计，直至其数值结果达到既定数值水平后，才能借助 CLIPS 工具实现基于 VC++ 软件的数据编码与传输执行。雷达故障信息嵌入处理流程图如图 4 所示。

3.2 Access 数据库连接

Access 数据库中同时包含两个信息诊断客户端，其中一个设备应用元件与信息查询模块相连，可在获取雷达故障信息的同时，将这些数据文件整合成满足多维高斯贝叶斯算法执行需求的传输形式，并将其全部转存于 Access 主机之中；另一个设备应用元件可在服务器的作用下，记录雷达故障信息的实际传输形式，并可在不违背多维高斯贝

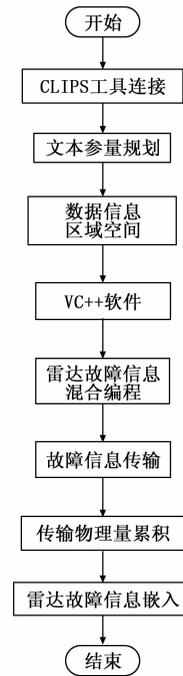


图 4 雷达故障信息嵌入处理流程图

叶斯算法执行标准的情况下，将这些数据参量整合成完全顺向或完全逆向的存储形式^[18]。Internet 服务器存在于 Access 数据库中部，能够承接系统信息诊断客户端的连接请求，并可联合 Web 网络主机，将这些雷达故障信息划分成待存储文本与已存储文本两类，其中待存储文本放置于信息存储元件中，已存储文本放置于 Access 主机之中^[19]。至此，实现各项软、硬件执行环境的搭建，在多维高斯贝叶斯算法的作用下，完成雷达故障信息诊断系统的应用。Access 数据库连接原理如图 5 所示。

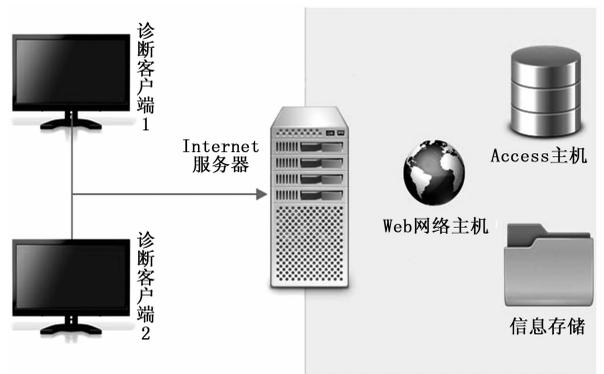


图 5 Access 数据库连接原理

4 系统应用性分析

4.1 验证方法

为验证基于多维高斯贝叶斯算法雷达故障信息诊断系统的实际应用价值，设计如下对比实验。在气象雷达探测环境中设置实验用天气雷达，利用传输数据线导出其中已存储的数据信息，选取其中相对稳定的信息参量，将其平

均分成两部分, 分别作为实验组与对照组分析数据, 其中实验组探测主机搭载基于多维高斯贝叶斯算法雷达故障信息诊断系统, 对照组探测主机搭载远程故障诊断原型系统。

4.2 应用效果分析

雷达故障信息诊断效率能够反应诊断系统的实际应用能力, 一般情况下, 诊断效率越高, 系统的诊断能力也就越强, 反之则越弱。图6记录了实验组、对照组雷达故障信息诊断效率的具体数值变化情况。

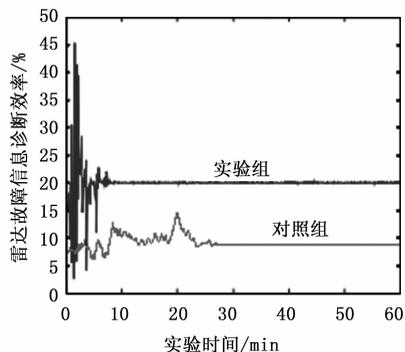


图6 雷达故障信息诊断效率对比图

分析图6可知, 随着实验时间的增加, 实验组、对照组雷达故障信息诊断效率均保持先波动、再稳定的数值变化趋势, 但实验组的均值水平始终高于对照组。实验组曲线在10 min处终止波动趋势, 前10 min的实验时间内, 最大数值记录结果达到了45%、最小数值记录结果达到了2.5%, 二者间差值为42.5%。对照组曲线在30 min处终止波动趋势, 前30 min的实验时间内, 最大数值记录结果达到了15%, 最小数值记录结果达到了7.2%, 二者间差值为7.8%, 远低于实验组数值水平。

RSR指标能够反应系统故障诊断指令执行所需消耗的数据成本, 一般情况下, RSR指标数值越大, 系统故障诊断指令执行所需的数据消耗成本也就越高, 反正则越低。下表记录了实验组、对照组RSR指标的实际数值变化情况。

分析表1可知, 随着实验时间的增加, 实验组RSR指标最大值始终维持连续下降的数值变化趋势, 最小值则是在保持相对稳定的数值波动状态; 而对照组RSR指标最大值在一段时间的数值稳定状态后, 开始出现持续上升的数值变化趋势, 最小值则在连续上升后, 开始逐渐趋于稳定。从差值角度来看, 实验组最大值仅能达到16.7%, 而对照组最大值却达到了29.7%, 与实验组相比, 上升了7%。应用基于多维高斯贝叶斯算法雷达故障信息诊断系统后, RSR指标出现了明显下降的数值变化趋势, 而雷达故障信息的诊断效率却得到了大幅提升, 符合节约故障诊断指令执行所需数据消耗成本的实际应用需求。

综上所述, 本文采用基于多维高斯贝叶斯算法构建了雷达故障信息诊断系统, 在系统实际应用测试中得出, 该系统对雷达故障信息诊断的效率较高, 节约了故障诊断指令执行所需数据消耗成本, 具有一定的实际应用性。

表1 RSR指标数值对比表

实验时间/ min	实验组 RSR 指标/%		
	最大值	最小值	差值
5	34.1	17.5	16.6
10	33.8	17.5	16.3
15	33.2	17.5	16.7
20	33.0	17.7	15.3
25	32.9	17.6	15.3
30	32.5	17.5	15.0
35	32.3	17.5	14.8
40	32.3	17.6	14.7
45	32.1	17.5	14.6
实验时间/ min	对照组 RSR 指标/%		
	最大值	最小值	差值
5	70.8	41.2	29.6
10	70.8	41.3	29.5
15	70.9	41.6	29.3
20	71.0	41.8	29.2
25	71.1	41.9	29.2
30	71.2	42.0	29.2
35	71.3	42.0	29.3
40	71.5	42.0	29.5
45	71.7	42.0	29.7

5 结束语

在多维高斯贝叶斯算法的应用下, 雷达故障信息诊断系统联合客户机/服务器模式、服务器、信息查询模块等多个硬件设备结构体, 通过计算信息松弛度处理多维系数信号, 再借助已嵌入的雷达故障信息参量, 实现对 Access 数据库的连接处理。从实用性角度来看, RSR 指标数值的下降, 能够较好节约故障诊断指令执行所需的数据消耗成本, 对提升雷达故障信息诊断效率起到极强促进作用。

参考文献:

- [1] 景号然, 郑伟, 刘宗庆, 等. 基于 SRTM 天气雷达净空环境评估算法误差分析 [J]. 气象, 2020, 46 (2): 137-141.
- [2] 黄兴友, 印佳楠, 马雷, 等. 南京地区雨滴谱参数的详细统计分析及其在天气雷达探测中的应用 [J]. 大气科学, 2019, 43 (3): 691-704.
- [3] 叶春霖, 邱颖宁, 冯延晖. 基于警报信号和 D-S 证据理论的风电机故障诊断 [J]. 太阳能学报, 2019, 40 (12): 3613-3620.
- [4] 刘春芳, 王奕璇, 何瑞东, 等. 基于居民行为的三生空间识别与优化分析框架 [J]. 自然资源学报, 2019, 34 (10): 2113-2122.
- [5] 曹素珍, 杜霞玲, 王友琛, 等. 多服务器可验证的属性基多关键字排序检索方案 [J]. 计算机工程, 2020, 46 (3): 120-128.
- [6] 宋丹, 梁睿君, 李伟, 等. 数控机床远程智能故障诊断系统设计 [J]. 数据采集与处理, 2020, 35 (1): 177-184.

(下转第30页)