

基于灰熵绝对关联分析在嵌入式计算机性能评价中的应用

周延年 朱怡安

(西北工业大学计算机学院 西安 710072)

摘 要 为了克服传统的灰熵关联度不具有唯一性和对称性等问题,建立了一种新的评价模型——灰熵绝对关联分析模型,并将该模型用于嵌入式计算机性能评价中。该算法主要是将灰熵理论与灰色绝对关联度相结合,保证了灰熵绝对关联度具有唯一性和对称性,有效地避免了误判的可能性。算例表明,该算法提高了嵌入式计算机性能评估的有效性和准确性,为嵌入式计算机性能综合评价提供了新方法。

关键词 灰色关联分析,灰熵关联度,绝对关联度,嵌入式计算机,性能评价

中图分类号 TP391 文献标识码 A

New and Better Algorithm for Evaluation of Overall Performance of Embedded Computer through Combining Grey Entropy with Absolute Correlation Degree

ZHOU Yan-nian ZHU Yi'an

(Institute of Computer, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract Conventional gray entropy correlation degree suffers from the non-uniqueness and asymmetry. We now proposed a novel evaluation model and applied the model to evaluate the performance evaluation of embedded computer. The algorithm combining the gray entropy theory with gray absolute correlation degree is to guarantee that the gray entropy absolute correlation degree has unique and symmetry, which can effectively avoid the miscarriage of justice for performance of embedded computer. A numerical example shows that the algorithm improves the effectiveness and accuracy of the performance evaluation of embedded computer, and provides a way to evaluate the comprehensive performance of embedded computer.

Keywords Gray correlation analysis, Gray entropy correlation degree, Absolute correlation degree, Embedded computer, Performance evaluation

1 引言

近几年来,嵌入式计算机越来越受到重视,伴随着嵌入式计算机应用范围的扩大,消费者越来越注重嵌入式计算机的综合性能。因此,对嵌入式计算机进行综合性能评估研究,是正确合理使用嵌入式计算机的前提,具有非常重要的实际意义^[1]。

嵌入式计算机的内部结构比较复杂,存在着信息参数不完全的问题,而灰色系统理论正是处理“部分信息已知,部分信息未知”的不确定性系统^[2]。灰色系统理论是邓聚龙教授所创立的,该系统是利用已知信息来确定未知信息,而使系统由“灰”变为“白”的过程。灰色关联分析理论是一种因素分析法,是各个因素间发展态势的量化比较分析,这种方法对样本量的大小没有太高的要求,分析时也不需要典型的分布规律,且分析的结果一般与定性分析相吻合,非常适用于嵌入式计算机性能评价中^[3]。

灰熵关联度主要是将灰熵理论运用到邓氏关联度中,从而得到了灰关联分析的新方法,该方法克服了邓氏关联度的

不足:局部点关联系数控制整个灰关联度的倾向和造成信息损失^[4]。但由于邓氏关联度存在不唯一性,使得灰熵关联度也不具有唯一性,容易造成评价结果与定性分析不符。因此,本文将灰熵理论应用到灰色绝对关联度中,提出了基于灰熵绝对关联分析的评价模型,并将其应用到嵌入式计算机性能评价中。

2 嵌入式计算机性能评价指标体系

为了统一考察评估对象,必须建立一个评估准则。嵌入式计算机评估指标体系就是一个评估准则,它使用同一评估尺度对不同嵌入式计算机进行比较^[5]。

根据嵌入式计算机的信息运算性能、信息运输性能、信息存储性能等因素的影响,结合相关资料,归纳筛选出具有独立性、代表性、完备性的嵌入式计算机性能评价指标,使其能真实、准确地反映嵌入式计算机的主要性能。最后按照属性关系,将嵌入式计算机的评估指标组成多级递阶层次结构,构成嵌入式计算机性能评价指标体系,如图 1 所示。图中 U 表示总目标,1 级指标集合为 $\{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6\}$, 二级指标集

到稿日期:2009-03-21 返修日期:2009-06-20 本文受国家自然科学基金(60573101)资助。

周延年(1981-),男,博士生,主要研究方向为嵌入式计算机、实时系统等,E-mail:zhouyannian@hotmail.com;朱怡安(1961-),男,博士,教授,主要研究方向为高性能计算、嵌入式计算、普适计算等。

合为 $\{U_{i1}, U_{i2}, U_{i3}, \dots, U_{in_i}\}, (i=1, 2, 3, 4, 5, 6)$ 。

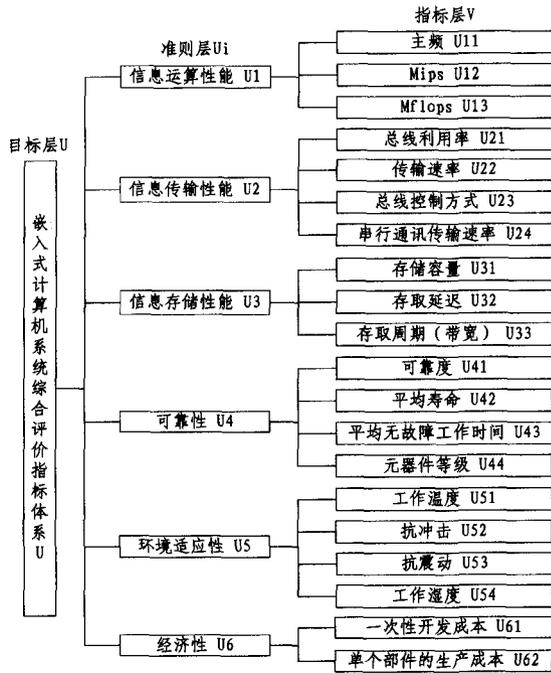


图1 嵌入式计算机系统评价指标体系

3 灰熵关联度的算法及其缺陷

灰熵关联分析是将参考序列和各个比较序列中数据的相似和吻合程度用信息熵的方法进行定量描述,以量化指标造成影响因素的吻合排序。

3.1 灰熵关联度的算法步骤

关于灰熵关联度的计算,具体分为以下4个步骤^[4]。

1) 邓氏灰关联系数的计算^[6]

设 $X_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n))$ 为参考序列, $X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n))$, $i=1, 2, \dots, m$ 为比较序列, 则参考序列与各个比较序列的 k 点邓氏关联系数为 $r_{0i}(k)$,

$$r_{0i}(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \xi \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \xi \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

式中, $\xi \in (0, 1)$ 为分辨系数。

2) 灰关联熵的计算

对参考序列和比较序列的 k 点关联系数进行映射处理, 得到比较序列 x_i 的灰关联熵 $H(p_i)$,

$$H(p_i) = - \sum_{k=1}^n p_{ik} \ln p_{ik} \quad (2)$$

式中, p_{ik} 为分布密度值,

$$p_{ik} = r_{0i}(k) / \sum_{k=1}^n r_{0i}(k) \quad (3)$$

3) 灰熵关联度的计算

计算比较序列 x_i 的灰熵关联度 $E_r(x_i)$,

$$E_r(x_i) = H(p_i) / H_m \quad (4)$$

式中, H_m 代表由 n 个属性元素构成的差异信息列的最大熵, 即 $H_m = \ln(n)$ 。

4) 灰熵关联度的评价准则

确定灰熵关联度的评价准则为: 比较序列的熵关联度越大, 则比较序列与参考序列的关联性越强; 反之, 则比较序列与参考序列的关联性越弱。

3.2 传统灰熵关联度的缺陷

传统灰熵关联度以邓氏关联度为基础, 但邓氏关联度存在两个不足之处^[7]:

(1) 分辨系数 ξ 引起关联系数不唯一, ξ 可以增大参考序列与各比较序列关联系数的差异, 不同的 ξ 可能会得出 $r_{0i}(k) > r_{0j}(k)$ 或 $r_{0i}(k) < r_{0j}(k)$ 两种相互矛盾的结果。显然, 分辨系数 ξ 影响了分析的客观性, 可能会导致关联序误判。

(2) 参考序列与比较序列的距离影响关联系数。设有参考序列 x_0 , 比较序列 $x_i = x_0 + a$, $x_j = x_0 + b$, $a > b$ 。一方面, 两个比较序列到参考序列的距离不相等, 根据邓氏关联度求得 $r_{0i}(k) < r_{0j}(k)$; 另一方面, 两个比较序列的变化趋势完全一致。可见, 由于邓氏关联度中存在 $|x_0(k) - x_i(k)|$ 这一项, 使得序列间的距离影响了关联系数。

4 算法的改进

考虑到邓氏关联度的不足, 本文用灰色绝对关联度替代邓氏关联度, 得到改进后的灰熵关联度算法——灰熵绝对关联度。

4.1 灰色绝对关联度

灰色绝对关联度主要依据两时间序列在对应时段上曲线的斜率来衡量其数列间的几何关系。若两曲线在各时段上斜率相等或相差较小, 则二者的关联系数就大; 反之就小。灰色绝对关联度定义如下^[8]:

$$r_{0i} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^{n-1} r_{0i}(k) \quad (5)$$

式中, $r_{0i}(k)$ 为灰色绝对关联系数,

$$r_{0i}(k) = \frac{1}{1 + |(x_0(k+1) - x_0(k)) - (x_i(k+1) - x_i(k))|} \quad (6)$$

显然灰色绝对关联度具有关联系数唯一性, 能够保证评价的准确性。

4.2 灰熵绝对关联分析评价模型

将灰熵理论与灰色绝对关联度相结合, 得到了灰熵绝对关联分析评价模型, 该模型的流程如图2所示。

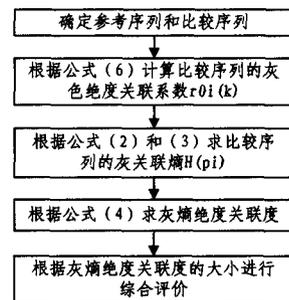


图2 灰熵绝对关联分析评价模型流程图

5 应用实例

下面以3种嵌入式计算机为例, 具体介绍该方法的应用。A型嵌入式计算机是一种常用的嵌入式计算机, 其计算先进性能稳定; B型嵌入式计算机是A型嵌入式计算机的改进型, 主要性能均比A型嵌入式计算机要好; C型嵌入式计算机是一种旧型嵌入式计算机, 各个性能都比较差。应用本文提出的算法, 对这3种型号的嵌入式计算机进行综合性能评

(下转第230页)

[5] Alsina C, Frank M J, Schweizer B. Associative Functions; Triangular Norms and Copulas[M]. WorldScientific Publishing Company, 2006

[6] 罗敏霞, 何华灿. 基于幂零泛与运算模型的命题模糊逻辑[J]. 计算机科学, 2004, 31(8): 97-99

[7] 陈丹, 何华灿, 王晖. 基于连续可控 T 范数的模糊控制方法研究[J]. 控制理论与应用, 2001, 18(5): 717-721

[8] Schutz B. Gravity from the Ground Up[M]. Cambridge University Press, 2003

[9] Holliday D, Resnick R, Walker J. Fundamentals of physics[M]. John Wiley and Sons, 1993

(上接第 207 页)

价和优劣比较, 根据 4.2 节的灰熵绝对关联分析评价模型流程图进行综合评价, 具体步骤如下所示。

表 1 嵌入式计算机比较序列与参考序列的无量纲数据

指标	x_0	x_1	x_2	x_3
U ₁₁	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
U ₁₂	1.4189	2.5803	0.9784	3.4400
U ₁₃	1.4354	2.2802	1.1149	4.4800
U ₂₁	1.4849	2.6103	1.1263	3.6000
U ₂₂	1.5344	2.6103	1.1149	5.3600
U ₂₃	1.3859	2.3702	1.0125	4.3200
U ₂₄	1.3694	2.2802	1.0011	4.4800
U ₃₁	1.6169	2.9403	1.1149	6.2400
U ₃₂	1.4354	2.5803	1.0125	5.1200
U ₃₃	1.4354	2.6103	1.0011	4.4800
U ₄₁	1.1219	1.3201	0.9898	0.9600
U ₄₂	1.2704	1.9502	1.0125	2.5600
U ₄₃	1.2209	2.0102	0.8874	3.6000
U ₄₄	1.2869	2.3402	0.8874	4.4800
U ₅₁	1.4519	2.6703	0.9898	6.0800
U ₅₂	1.4519	2.3702	1.1149	5.3600
U ₅₃	0.5494	0.9991	0.3788	2.6640
U ₅₄	1.0889	1.6802	0.8646	3.6000
U ₆₁	1.5014	2.6403	1.0694	6.2400
U ₆₂	1.3694	2.2802	1.0125	4.4800

表 2 比较序列的灰色绝对关联系数

k	r_{01}	r_{02}	r_{03}
1	0.4627	0.6942	0.3310
2	0.7595	0.8929	0.4942
3	0.7809	0.9633	0.5183
4	0.9528	0.9426	0.3689
5	0.9161	0.9559	0.5287
6	0.9315	0.9949	0.8500
7	0.7079	0.8821	0.3980
8	0.8485	0.9267	0.5159
9	0.9709	0.9887	0.6098
10	0.5059	0.7679	0.2377
11	0.6749	0.8883	0.4079
12	0.9013	0.9297	0.4786
13	0.7911	0.9381	0.5513
14	0.8583	0.9411	0.4107
15	0.7692	0.8888	0.5814
16	0.6809	0.8573	0.3580
17	0.8760	0.9490	0.7161
18	0.6462	0.8280	0.3098
19	0.8143	0.9301	0.3805

步骤 1 建立层次结构模型

根据嵌入式计算机性能参数指标和能够适应未来环境发展的需求, 构建了 3 层的评价指标体系, 如图 1 所示。

步骤 2 确定参考序列和比较序列

参考序列 x_0 是通过统计方法从众多性能较好的嵌入式计算机中得到的相关指标数据而构造的, 比较序列 x_1, x_2, x_3

分别是由 A、B、C 3 种嵌入式计算机根据相关指标得到的数据, 并采用初值像对序列 $x_i, i=0, 1, 2, 3$ 进行无量纲处理, 处理结果如表 1 所列。

步骤 3 计算比较序列的灰色绝对关联系数 $r_{0i}(k), (i=1, 2, 3)$ 。

根据式(6), 得到比较序列的灰色绝对关联系数如表 2 所列。

步骤 4 计算灰熵绝对关联度

根据式(2)和式(3), 计算比较序列的灰绝对关联熵 $H(p_i)$ 分别为:

$$H(p_1)=2.9278, H(p_2)=2.9410, H(p_3)=2.9004$$

则根据式(4), 得到灰熵绝对关联度 $E_r(x_i)$ 分别为:

$$E_r(x_1)=0.9943, E_r(x_2)=0.9988, E_r(x_3)=0.9850$$

步骤 5 进行综合评价

将灰熵绝对关联度 $E_r(x_i), i=1, 2, 3$ 按由大到小的顺序进行排列, 显然有 $E_r(x_2) > E_r(x_1) > E_r(x_3)$ 。

这表明 A、B、C 3 种嵌入式计算机中, B 型嵌入式计算机的综合性能最优, 其次是 A 型嵌入式计算机, 最后为 C 型嵌入式计算机。评价结果与实际使用中的性能表现相符。

结束语 本文将灰熵理论与灰色绝对关联分析理论相结合, 提出了灰熵绝对关联分析评价模型, 该模型有效地解决了传统灰熵关联分析的不唯一性, 提高了嵌入式计算机性能评估的准确性和有效性, 为今后嵌入式计算机综合性能的评价提供了有价值的参考。

参 考 文 献

[1] Kahrman C, Cevik S, Ates N Y, et al. Fuzzy multi-criteria evaluation of industrial robotic systems[C]// Computer & Industrial Engineering. 2007, 52: 414-433

[2] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 2006

[3] 吕锋, 刘翔, 等. 七种灰色系统关联度的比较研究[J]. 武汉工业大学学报, 2000, 22(2): 41-44

[4] 张岐山, 郭喜江, 邓聚龙. 灰关联熵分析法[J]. 系统工程理论与实践, 1996(8): 7-11

[5] 郭齐胜, 董志明, 单家元. 系统建模[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006

[6] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990: 3-84

[7] 郑子华, 陈家祯, 陈利永. 基于灰色绝对关联度的边缘检测算法[J]. 福建师范大学学报, 2004, 20(4): 20-23

[8] 梅振国. 灰色绝对关联度及其计算方法[J]. 系统工程, 1993, 10(5): 43-44