

一种面向分布式嵌入式计算机的性能评估模型

李红军¹ 崔西宁² 牟明² 韩伟²

(驻六三一所军事代表室 西安 710065)¹

(中国航空工业集团公司西安航空计算技术研究所 西安 710065)²

摘要 不同领域的嵌入式计算机的性能评估有很大的差异性,对分布式嵌入式计算机的性能评估需要考虑其自身特点。分析了分布式嵌入式计算机的一般特征,提出了一种结合软硬件的、面向分布式嵌入式计算机的性能评估模型。该评估模型从分布式嵌入式计算机的通用技术特征方面入手,提出了度量系统性能的指标和评估准则,具有指标定义明确、评价过程简便等优点。总结了几种常见的综合评价方法,为分布式嵌入式计算机的性能评估定义了完整的综合评价过程。通过实验表明了该方法的可行性。该研究对分布式计算机系统的体系结构设计、性能分析与改进具有重大的意义。

关键词 分布式计算机,嵌入式计算机,性能评估,综合评估方法

中图分类号 TP301 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.04.033

Research on Distributed Embedded Computer Performance Evaluation Model

LI Hong-jun¹ CUI Xi-ning² MU Ming² HAN Wei²

(Military Delegate Office in 631 Institute, Xi'an 710065, China)¹

(Xi'an Aeronautic Computing Technique Research Institute, Aviation Industry Corporation of China, Xi'an 710065, China)²

Abstract There exists great difference in performance evaluation of embedded computer in various application domains. The distributed embedded computer has its characters which should be taken into account while they are evaluated. The general characteristics of distributed embedded computer were analyzed, and a performance evaluation model was provided for the distributed embedded computer in view of its HW & SW. Starting with the common technology characteristics of distributed embedded computer, the model contains metrics and guidelines, which builds up an integrated evaluation model and takes advantages of explicit definitions and convenient regulations. Several common synthetic evaluation processes were summarized and on this basis a complete synthetic evaluation process was provided specially for the distributed embedded computer. The method is of good feasibility by an experiment. The study has great importance for performance evaluation of embedded devices, especially for distributed systems and the related design.

Keywords Distributed computer, Embedded computer, Performance evaluation, Integrated evaluation methodology

1 引言

嵌入式计算机的评价指标往往是多种指标的综合。由于嵌入式计算机设计本身的特殊性和复杂性,对于不同的设计要求,评价的方式不尽相同,评价指标的重要程度也不同。有的要求在有限的设计成本下获得尽可能快的处理速度,有的要求满足苛刻的实时性,有的应用场合要求很小的体积和重量等。因此,嵌入式计算机的设计评价与测量是比较复杂的。近年来,分布式嵌入式计算机发展迅速,广泛应用于环境监测、资源调配和飞行器控制等领域。分布式嵌入式计算机具

有分布式、计算处理、可靠性和可配置性等特点^[1-2]。

本文从分布式嵌入式计算机通用技术特征的角度,为嵌入式计算机建立较高层次的评估模型,总结常见的综合评价方法,定义了面向分布式嵌入式计算机性能的评估过程。

2 分布式嵌入式计算机的性能评估指标

从分布式嵌入式计算机的主要技术特征出发,归纳出4个评估指标:分布式、计算性、可靠性和配置性,并分析了它们的影响因素和评价指标,如图1所示。

到稿日期:2015-11-30 返修日期:2016-03-09 本文受国家重大专项基金(2012ZX01041-006),国家航空科学基金资助项目(2013ZC31003, 2013ZC31005)资助。

李红军(1980—),男,博士,工程师,主要研究领域为信息处理与软件工程, E-mail: sundaylhj@163.com; 崔西宁(1964—),男,博士,主要研究领域为并行分布式操作系统、实时控制与容错技术; 牟明(1973—),男,硕士,主要研究领域为软件工程; 韩伟(1988—),男,硕士,助理工程师,主要研究领域为嵌入式应用。

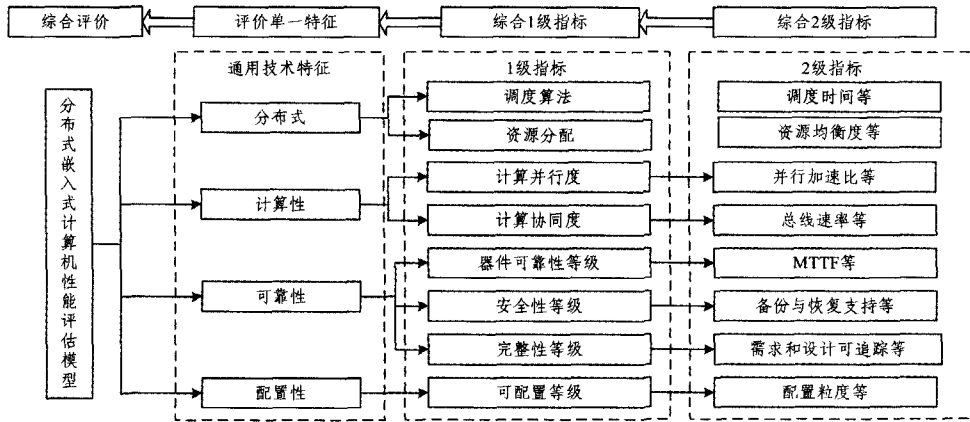


图1 分布式嵌入式计算机的性能评估指标

2.1 分布式指标

分布式嵌入式系统指的是把一个需要巨大计算能力才能解决的任务分成许多小的任务(部分),然后通过消息传递的方式把这些任务(部分)分配给网络上的计算机群(组)进行处理,最后综合处理各计算机的结果,得到最终的执行结果。对分布式的评价包括调度算法和资源分配两方面^[3]。

(1)调度算法:分布式嵌入式计算机的调度算法要保证优先级高的任务优先得到处理、尽量多的任务在期限内完成以及调度的开销和调度的成功率较高^[4]。

(2)资源分配:分布式嵌入式计算机的可分配资源包括嵌入式处理器、存储、网络和其他外部设备,这些资源越多表示系统的能力越强。在不同的场景下要将这些资源适当地分配给相应的任务,以达到资源分配的均衡性^[5]。

2.2 计算性指标

分布式嵌入式计算机的计算性技术特征是指通过采用设计、分析、验证和评估等方法,优化和平衡系统的各类非功能属性,来达到系统以较高性能运行的目的。计算性的评价指标包括计算并行度和计算协同度。

(1)计算并行度。嵌入式系统的计算并行度是指计算机系统具有可以同时进行运算或操作的特性,能在同一时间间隔内完成两种或两种以上工作。它包含同时性与并发性两层含义,同时性指两个或两个以上事件在同一时刻发生;并发性指两个或两个以上事件在同一时间间隔发生。

(2)计算协同度。计算协同度是指利用计算机技术、网络与通信技术、多媒体技术、分布式处理技术及人机接口技术,将时间上分离、空间上分布而工作上又相互依赖的多个协作成员及其活动有机地组织起来,以共同完成某一项任务^[6]。在一个系统内,若各子系统能很好地协同工作,系统的工作效率就能得到提高,甚至有成新的功能模块凝结。

2.3 可靠性指标

可靠性技术是指通过综合考虑系统可靠性、安全性和完整性等属性,来达到系统以较高的可靠性运行的目的。可靠性技术采用的方法有设计、分析、验证和评估等。衡量可靠性技术的因素可分为器件可靠性、安全性和完整性。

(1)器件可靠性等级。嵌入式系统的器件可靠性是指嵌

入式系统在给定的环境及时间区间内连续提供期望服务的能力。器件可靠性等级就是衡量嵌入式计算机系统内的硬件元器件所带来的连续服务能力的指标。

(2)安全性等级。嵌入式系统的安全性是指避免嵌入式系统处在潜在危险或者不稳定状态的能力,即嵌入式计算机中的硬件、软件及系统中的数据受到保护,不因偶然的或者恶意的原因而遭到破坏、更改、泄露,系统连续、可靠、正常地运行,信息服务不中断的能力。安全性一般用事故发生的概率与严重程度度量,常用的有事故率/概率、安全可靠度、损失率/概率、事故风险等,最终归结为用事故风险来综合度量。

(3)完整性等级。嵌入式计算机系统的完整性是指输出错误的概率,对一些应用而言,也可指未检测出的故障发生的概率。完整性不涉及可能不提供服务的情况,只讨论在有服务时服务的质量,也不考虑故障对系统安全性的影响以及引起错误的故障数量和顺序依赖性^[7]。

2.4 配置性指标

嵌入式系统的可配置性主要指的是系统资源的可配置。资源配置技术主要是指高效利用系统资源,在时间上能够复用资源,完成多种任务,在保持系统资源规模的情况下更高效地完成任务负载。资源配置技术主要应用于系统的部件级别和支持分区的子系统级别^[8]。资源配置可以发生在系统运行阶段,也可以在系统停止阶段。资源配置技术需要的服务包括数据加载服务、监控和检测服务、电源管理服务等^[9-10]。

3 分布式嵌入式计算机的性能评价准则

一般来讲,构成评价的基本要素包括评价者、被评价对象、评价指标体系、权重系数和综合评价方法,这5个基本要素构成一个整体,缺一不可。评价者一般都是由经验丰富、理论扎实且在嵌入式计算机领域比较权威的专家组成,一般采用团体的形式。权重系数是评价指标相对于评价目的的重要性度量。嵌入式计算机综合性能评价指标的权重系数包括两个层面:在纵向上,反映了评价指标对嵌入式计算机综合性能评价的贡献作用;在横向上,反映了评价指标所处的重要地位。具体的评价流程如图2所示。

在综合评价过程中,核心的步骤是综合评价方法的选取。

目前,综合评价方法发展较快,一些新兴的科学领域如模糊数学、人工神经网络技术、灰色系统理论、数据包络分析法等都被纷纷地引入到综合评价的研究中,形成了多种多样的综合评价方法。常见的综合评价方法有:模糊综合评价方法、人工神经网络分析法、灰色综合评价方法、数据包络分析法等。模糊综合法很好地解决了模糊性与精确性之间的问题,但选择模糊隶属度函数时存在较大的主观性。人工神经网络具有自适应能力、可容错性,能够处理非线性、非局部性与非凸性的大型复杂系统;但通常情况下,人工神经网络的收敛速度比较慢,训练时间长。灰色综合评价方法能处理信息部分明确、部分不明确的系统,且计算量小,不会出现定性分析结果与量化结果不符的情况;但灰色关联度受分辨系数的影响,评价结果可能会不同。数据包络分析法表明了评价对象的相对发展指标,但无法表示出实际发展水平。

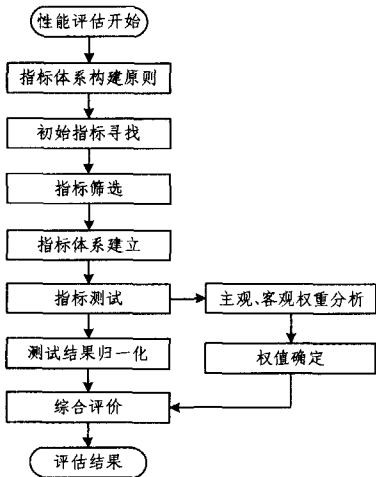


图 2 综合评价流程

虽然已有多种综合评价方法,但每种综合评价方法所解决问题的侧重点不同,适用范围也不同。因此,在进行多属性综合评价时,应该根据评价对象、评价目标和评价指标体系这 3 个方面进行分析,在遵循客观性、可操作性和有效性原则的基础上选择合适的方法。

因此,综合上述理论,本文给出一种面向分布式嵌入式计算机的性能综合评估^[11-12]方法,定义如下。

定义 1 对 $n(n>1)$ 台分布式嵌入式计算机 $\{E_1, E_2, \dots, E_n\}$ 进行综合性能评价,选定 n 个评价指标 I_1, I_2, \dots, I_n , 设第 i 台分布式嵌入式计算机在评价指标 I_j 上的指标值为 x_{ij} , 通过指标值 x_{ij} 构造评价函数 $y = \varphi \cdot f(W|I)$, 使得计算机 E_1, E_2, \dots, E_n 在 $y = \varphi \cdot f(W|I)$ 的作用下进行排序或聚类, 这就是分布式嵌入式计算机的综合性能评价。其中, φ 为映射关系, $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 是权重向量, $I = (I_1, I_2, \dots, I_n)^T$ 是评价指标向量。

4 模型应用

本节结合航空电子系统中的某综合任务介绍所提模型的一个应用场景。

4.1 指标选取

本文所提出的模型中,系统的性能评估可分为调度算法 I_1 、资源分配 I_2 、计算并行性 I_3 、计算协同性 I_4 、器件可靠性等级 I_5 、安全性等级 I_6 、完整性等级 I_7 和配置性等级 I_8 这 8 个一级指标;为了进一步细化上述一级指标,经过一定规则的筛选,得出了全部的二级指标,如表 1 所列。

表 1 二级指标清单

序号	1 级指标	代号	权值	2 级指标	代号	权值
1	调度算法	I_1	w_1	调度时间	I_{11}	w_{11}
				调度成功率	I_{12}	w_{12}
2	资源分配	I_2	w_2	可分配资源数量	I_{21}	w_{21}
				资源分配均衡度	I_{22}	w_{22}
3	计算并行性	I_3	w_3	并行加速比	I_{31}	w_{31}
				峰值速度	I_{32}	w_{32}
4	计算协同性	I_4	w_4	总线速率	I_{41}	w_{41}
				通信延迟	I_{42}	w_{42}
				吞吐量	I_{43}	w_{43}
5	器件可靠性等级	I_5	w_5	MTTF	I_{51}	w_{51}
				MTBF	I_{52}	w_{52}
6	安全性等级	I_6	w_6	备份与恢复支持	I_{61}	w_{61}
				病毒防范等级	I_{62}	w_{62}
				操作系统安全等级	I_{63}	w_{63}
7	完整性等级	I_7	w_7	需求和设计可追踪	I_{71}	w_{71}
				数据输入校验	I_{72}	w_{72}
				系统完整度	I_{73}	w_{73}
8	可配置等级	I_8	w_8	配置粒度	I_{81}	w_{81}
				配置时间	I_{82}	w_{82}

在对每个指标进行测试之后,需要对测试后的值进行归一化操作,使其为一个 $[0, 100]$ 之间的实数。0 表示不具备该性能,100 表示该系统的该项性能指标为目前最高值,数字由低到高反映了性能由弱到强。其归一化方式如式(1)所示。

$$x_{ij} = \frac{\text{实际测量值}}{\text{参考值}} \times 100 \tag{1}$$

4.2 权值分配

不同的指标在综合评估时发挥的作用也有差别,因此为了区分指标作用的大小,需要为每个指标分配一定的权值。在权值分配时通常采用层次分析法。首先可以请专家组对指标进行评估,并根据实际经验,由重要到不重要对指标进行排序。第一个指标对应的分值为 1,后面依次参考第一个指标给出对应的分值 $x_i(0 \leq x_i \leq 1)$,且 $i=2, 3, \dots, n$, n 为指标的总个数,当分值为 0 时,表示在计算最终的评估值时不考虑该指标。最终通过式(2)计算得到每个指标的权值。

$$w_i = x_i / \sum_{i=1}^n x_i \tag{2}$$

4.3 综合评估计算

这里采用两级的层次分析法,计算公式为:

$$y_E = \sum_i I_i w_i, I_i = \sum_j I_{ij} w_{ij} \tag{3}$$

利用上述计算方式,确定一组合适的权值,从而估计二级指标得分。

航空电子系统中的某综合任务处理机 ICP 具有传感器信号处理、数据处理与数据融合能力,含有电源模块、通用处理模块、通用处理及 IO 模块、交换模块等模块,各模块通过光纤通道(FC)进行互联,是一种典型的分布式嵌入式的处理系统。对 ICP 进行性能评估,其指标的指标向量和权值向量如

表2所列。经过第一轮计算后,可以得到每一个一级指标的得分和对应的权重系数,如表3所列。

表2 ICP的二级指标和权重表

指标	得分	权值	权值系数
I_{11}	97	w_{11}	0.5
I_{12}	98	w_{12}	0.5
I_{21}	98	w_{21}	0.7
I_{22}	96	w_{22}	0.3
I_{31}	97	w_{31}	0.6
I_{32}	98	w_{32}	0.4
I_{41}	98	w_{41}	0.3
I_{42}	96	w_{42}	0.5
I_{43}	96	w_{43}	0.2
I_{51}	94	w_{51}	0.5
I_{52}	95	w_{52}	0.5
I_{61}	94	w_{61}	0.6
I_{62}	94	w_{62}	0.3
I_{63}	94	w_{63}	0.1
I_{71}	94	w_{71}	0.2
I_{72}	94	w_{72}	0.3
I_{73}	94	w_{73}	0.5
I_{81}	94	w_{81}	0.7
I_{82}	94	w_{82}	0.3

根据式(3)可知,ICP的评估分值为95.716,性能表现优秀。在计算性方面,高性能多核PowerPC处理器和大容量内存使得单板性能表现优异。在分布式方面,ICP节点内采用分区操作系统,分区间时间片轮转调度,分区内采用优先级调度,ICP节点间有一定的可替代性,资源分配较均衡;在可靠性方面,通过元器件筛选、冗余设计和软件健康管理等手段保证系统的安全可靠;在可配置性方面,可配置资源(硬件模块/通信链路/软件固件等)丰富,配置时间较短。本测评方案提供了一种可行的分布式嵌入式计算机性能评估参考方法。

表3 ICP的一级指标和权重表

指标	得分	权值	权值系数
I_1	97.5	w_1	0.15
I_2	97.3	w_2	0.19
I_3	97.4	w_3	0.11
I_4	96.6	w_4	0.19
I_5	94.5	w_5	0.18
I_6	94.0	w_6	0.17
I_7	94.0	w_7	0.18
I_8	94.0	w_8	0.17

结束语 针对分布式嵌入式计算机性能评估方法不统一的问题,提出了通用的分布式嵌入式计算机性能评估模型。首先从高层概念认识嵌入式计算机的性能组成;然后将这些高层概念对应到具体的性能指标上;最后通过一定的综合评估方法得出对被测系统的整体评价。对模糊综合评价等几种常见的多属性综合评估方法进行了比较,明确了它们的侧重点和适用范围,在遵循客观性、可操作性和有效性原则的基础上定义了分布式嵌入式计算机性能综合评估方法,充实了该评估模型。该评估模型的提出有助于分布式嵌入式计算机设计者和测试者把握分布式嵌入式计算机的整体性功能和性能参考系,可以通过不同的综合评价方法来计算分布式嵌入式计算机的性能,并进行评分。在其良好的实用性和简便性的基础上,下一步的研究工作是继续完善二级评价指标,增强评估模型的实用性。

参考文献

- [1] ZHANG H T, GONG L Q. Research of Embedded Computer Performance Evaluation Technology [J]. Modern Electronics Technique, 2008(14): 49-54. (in Chinese)
张海涛, 龚龙庆. 用于嵌入式计算机性能评测技术及其方法研究[J]. 现代电子技术, 2008(14): 49-54.
- [2] YU Z P. Development and Prospect of Embedded Computer System [J]. Silicon valley, 2008(16): 53-54. (in Chinese)
于子萍. 嵌入式计算机系统的发展与展望[J]. 硅谷, 2008(16): 53-54.
- [3] PANG C H. Research of Embedded Computer Technology and Application [J]. Practical Electronics, 2013(4): 23-26. (in Chinese)
庞春辉. 嵌入式计算机技术及其应用研究[J]. 电子制作, 2013(4): 23-26.
- [4] GUO Q L, LI J J, ZHEN C, et al. Exploration and Analysis of Distributed Avionics [J]. Aeronautical Computing Technique, 2014, 44(5): 121-124. (in Chinese)
郭秋丽, 刘建军, 甄超, 等. 分布式航电系统探讨与分析[J]. 航空计算技术, 2014, 44(5): 121-124.
- [5] MING W, SONG T. Research on Schedulability of Partition Scheduling for IMA [C] // Proceedings of the 2011 Fourth International Symposium on Computational Intelligence and Design. IEEE Computer Society, 2011, 322-325.
- [6] LI Q C, TANG D K. Comparison and Evaluation of Real-time of Embedded Operating System [J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2007(6): 18-21. (in Chinese)
李庆诚, 唐德凯. 嵌入式操作系统实时性对比与评价[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2007(6): 18-21.
- [7] dE HOON M M C M. Performance Analysis of Distributed Real-Time Embedded Systems [D]. Eindhoven University of Technology, 2005
- [8] FLORENTZ B, HUH N M. Embedded systems architecture: Evaluation and analysis [M] // Quality of Software Architectures. Springer Berlin Heidelberg, 2006: 145-162.
- [9] DABHOLKAR A, DUBEY A, GOKHALE A, et al. Reliable Distributed Real-Time and Embedded Systems through Safe Middleware Adaptation [C] // Proceedings of the IEEE Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS), 2012: 362-371.
- [10] AHUJUA S, Di Yao Neema S, BAPTY T, et al. Dynamically reconfigurable monitoring in large scale real-time embedded systems [J]. Southeastcon, IEEE, 2005, 441(1): 327-332.
- [11] PERATHONER S, WANDELER E, THIELE L. Evaluation and Comparison of Performance Analysis Methods for Distributed Embedded Systems [R]. Computer Engineering and Networks Laboratory, Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, Switzerland, 2006.
- [12] SAINI S, CIOTTI R, et al. Performance Evaluation of Supercomputers using HPCC and IMB Benchmarks [J]. Journal of Computer & System Sciences, 2006, 74(6): 965-982.