

EDF 调度算法抢占行为的研究及其改进

王济勇,林 涛,王金东,韩光洁,赵 海

(东北大学信息科学与工程学院 辽宁沈阳 110004)

摘 要: 通过对采用抢占式 EDF 算法的嵌入式系统中各实时任务抢占行为的分析,建立了一个周期性任务集的抢占模型,从数学上描述了抢占关系、可调度性、调度开销与实时任务的周期、执行时间、最终期限、启动时间等属性之间的关系.依据该抢占模型,提出了一个改进的抢占式 EDF 调度算法,通过将基于遗传算法的优化方法离线计算得到的实时任务启动时间作为目标系统的一个调度参数,减少抢占次数,改变抢占关系,从而提高系统的可调度能力和实时性能.最后用实验验证了改进的抢占式 EDF 调度算法的有效性.

关键词: 抢占式 EDF; 启动时间; 抢占模型; 实时性能; 嵌入式系统

中图分类号: TP302.7; TP316.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 01-0064-05

Research on Preemptions of Preemptive EDF and Improvement on Its Performance

WANG Ji-yong, LIN Tao, WANG Ji-dong, HAN Guang-jie, ZHAO Hai

(School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: By analyzing preemptions of real-time tasks in embedded systems under preemptive EDF (Earliest Deadline First) schedule algorithm, we create a preemption model of periodic real-time tasks. This model describes relationship between overhead occurred by preemptions and the properties of real-time tasks, such as priorities, periods, execution times, deadlines, release times etc. It also shows the relationships among task's properties, preemption orders, schedule overheads and schedulability. Underlying the model, this paper presents an improved preemptive EDF algorithm, which uses the release times as schedule criteria got by an optimization algorithm. The optimization algorithm is based on genetic algorithm and runs off-line on desktop computers. Using the algorithm can reduce the number of preemptions, change order of preemption, so that the schedule capacity and real-time performance of embedded systems are improved. And then the improved schedule algorithm underlying the model is evaluated by experiments.

Key words: preemptive EDF; release time; preemption model; real-time performance; embedded systems

1 引言

抢占式 EDF (Earliest Deadline First) 调度算法总是执行绝对最终期限最早的实时任务,它是一个动态优先级的调度算法.基于如下的假设

- (1) 任何任务不存在不可抢占的部分,且抢占的代价可以忽略;
- (2) 只是处理器请求是有意义的;内存、I/O、和其它资源请求可以忽略;
- (3) 所有的任务都是无关的;不存在先后次序的约束;
- (4) 任务的相对最终期限与它的周期相等.

抢占式 EDF 调度算法是最优的单一处理器调度算法^[1],即在上述假设条件下,如果抢占式 EDF 调度算法不能在单一处理器上调度一个实时任务集,其它的调度算法也不可能.

但是, Katcher 等人的实验结果表明,在实际的实时系统

实现中,预期的任务处理器利用率比理想情况低得多^[2,3].特别是运行在微控制器上的实时系统,由于资源严重受限,使得抢占的代价较在桌面系统计算机上更高.由此可知,抢占的额外开销和抢占的关系降低了系统的可调度能力,影响着系统的性能.一个实时系统的可调度能力定义为在满足可调度性条件下,系统处理器的最大有效利用率,即实时任务运行所占微控制器(处理器)的比例.通过对采用抢占式 EDF 算法的实时系统中各实时任务抢占行为的分析,建立了一个周期性任务集的抢占模型 PEDEFModel,从数学上定量地刻画了抢占引起的额外开销与实时任务的周期、执行时间、最终期限、启动时间等属性的关系,还描述了任务间的抢占关系、系统的可调度性与任务的这些属性之间的关系.

根据抢占模型 PEDEFModel,实时任务的启动时间是抢占引起的额外开销、任务间的抢占关系和系统的可调度性的决定因素之一,而传统的抢占式 EDF 调度算法几乎都假定所有

实时任务的启动时间为零,未将其作为调节系统性能的因素。为此,本文提出了一个改进的抢占式 EDF 调度算法,一方面在目标系统的实时操作系统内核中增加一个调度参数——任务的启动时间;另一方面利用基于遗传算法的优化方法,依据抢占模型 PEDFModel,计算在当前系统自身属性和实时任务集属性约束下的一组优化的启动时间值,作为目标系统的调度参数。这个改进后的 EDF 调度算法能够延迟调度高优先级的任务,改变抢占关系,减少抢占的次数,改善系统的调度能力,从而可以提高系统的性能。

2 相关工作

抢占式 EDF 调度算法是由 Liu 和 Layland 首先提出来的^[4],它是一个动态优先级驱动的调度算法,其中分配给每个任务的优先级根据它们当前对最终期限的要求而定。当前请求的最终期限最近的任务具有最高的优先级,而请求最终期限最远的任务被分配最低优先级。这个算法能够保证在出现某个任务的最终期限不能满足之前,不存在处理器的空闲时间^[1]。

基于上面的假设(1)~(4)抢占式 EDF 调度算法对于给定周期性任务集可调度性的充分必要条件为:

$$\sum_{i=1}^n \frac{e_i}{P_i} \leq 1 \quad (1)$$

其中, e_i , P_i 分别为任务集中任务 i ($1 \leq i \leq n$) 的执行时间和周期。由此可知,抢占式 EDF 调度算法最大的优势在于,对于任何给定的任务集,只要处理器的利用率不超过 100%,就能够保证它的可调度性^[4]。

非抢占的 EDF 调度算法 NPEDF 是由 Jeffay 在 1991 年提出,适用于周期性和非周期性任务,其中非周期性任务可以在任何时间被唤醒,但它们连续的两次被唤醒之间的时间间隔被指定^[5]。一个任务一旦执行就要执行完成。调度程序只是在一个任务执行完成后才决定下一个要执行的任务,这与抢占式方案在每个时钟单位选择要执行的任务不同。NPEDF 可以用下面的方程描述:

$$\forall i, 1 < i \leq n, T_1 < L < T_i \quad L \geq C_i + \sum_{j=1}^{i-1} \left\lfloor \frac{L-1}{T_j} \right\rfloor C_j \quad (2)$$

如果方程(2)被满足,NPEDF 调度算法能够保证任何按照周期非递减排序的周期性任务集是可调度的。

由此可知,非抢占的 EDF 调度算法消除了抢占的调度开销,但是不能保证高优先级的任务优先执行。根据 Anna 等人关于抢占式 EDF 算法在工程实际中的实时理论模型^[6],本文对抢占式 EDF 算法进行了改进,通过延迟启动高优先级的任务,减少了抢占次数,改变了抢占关系,这样既具有抢占式 EDF 保证高优先级的任务最终期限优先满足的优点,又具有非抢占 EDF 调度开销小的优势。

3 考虑资源开销的动态调度模型

抢占式的 EDF 算法是由最终期限驱动的动态优先级调度算法。这个算法中,任务优先级的分配根据它们当前请求的最终期限。在假设(1)~(4)条件下的抢占式 EDF 调度算法是

最优的调度算法,但是 Katcher 等人的实验结果表明,在实际的实时系统实现中,预期的任务处理器利用率比理想情况低得多^[2,3]。Kettler、Katcher、和 Strosnider 建立了一个用于刻画实时理论实现代价的框架,它能够帮助开发人员精确地对自己的实时系统建模和评价^[7]。由这个框架可知,抢占发生时运行上下文的保存和恢复及相应的中断等额外开销大于任务正常结束后启动另一个任务的额外开销。对抢占式的 EDF 调度环境下实时任务集的抢占行为进行研究,从数学上刻画抢占引起的额外开销、抢占关系与系统参数和各实时任务属性之间的关系,能够改善系统的调度能力,进而提高系统的实时性能。为了简单起见,本文仅考虑由周期性任务构成的实时系统,且每个实时任务的相对最终期限与其周期相等。

为了描述方便起见,定义如下符号:

⊗ n 为实时任务集中任务总数;

⊗ T_i 为实时任务 i 的标识, $i = 0, \dots, n-1$;

⊗ e_{ij} 为 T_i 第 j 次的执行经历时间,即从启动开始到执行结束所经历的时间,包括期间所有抢占任务的执行时间和系统开销;

⊗ C_i 为 T_i 的最坏执行时间, $i = 0, \dots, n-1$;

⊗ P_i 为 T_i 的周期, $i = 0, \dots, n-1$;

⊗ D_i 为 T_i 的相对最终期限且 $D_i = P_i$, $i = 0, \dots, n-1$;

⊗ r_i 为 T_i 的相对启动时间, $i = 0, \dots, n-1$;

⊗ t 为系统运行的时间, $t \geq 0$;

⊗ $w_{i,u}$ 为 T_i 第 u 次执行被直接抢占的次数, $i = 0, \dots, n-1$, $u = 0, \dots, \lceil t/P_i \rceil - 1$;

⊗ $Pre_{i,u}$ 为 T_i 第 u 次执行,直接抢占它的任务的有序集合,每个元素用一个序偶 $\langle j, v \rangle$ 表示,即 T_j 的第 v 次执行,集合中元素的先后顺序表示了它们抢占的顺序,其中, $i = 0, \dots, n-1$, $j = 0, \dots, n-1$, $u = 0, \dots, \lceil t/P_i \rceil - 1$, $v = 0, \dots, \lceil t/P_j \rceil - 1$;

⊗ $Proj(n, a_0, a_1)$ 提取 a_0, a_1 二元序偶中的第 n 个元素,如 $Proj(0, a_0, a_1) = a_0$;

⊗ $r_{i,u}$ 表示 T_i 第 u 次的实际的启动时间,由于在 $r_{i,u} = r_i + uP_i$ 时刻,可能有高优先级的任务正在运行,任务的实际启动时间要后延,其中 $i = 0, \dots, n-1$, $u = 0, \dots, \lceil t/P_i \rceil - 1$;

⊗ O_{pre} 表示每次抢占发生时,调度开始或结束的开销,假定二者相等;

⊗ O_{nonpre} 表示抢占未发生时,调度开始或结束的开销,假定二者相等。

采用 EDF 调度算法的嵌入式系统中,优先级是动态分配的,任何一个任务都可能抢占其它的任务,也可能被其它任务抢占。只要一个任务在执行期间有更高优先级的任务启动抢占就发生,就被抢占的任务而言,它的执行经历时间由该任务本身的周期、执行时间、启动时间以及抢占它的更高优先级任务的这些属性决定,而且每次抢占发生,被抢占任务的执行经历时间区间被扩展。在这种动态优先级驱动的调度环境下,各实时任务的优先级由它的最终期限决定,因此,实时任务 T_i 第 u 次执行的第 m 次被抢占的条件为:

$$r_{i,u} < r_{pre_{i,u}[m]} < r_{i,u} + C_i + 2m \cdot O_{pre} + \sum_{k=0}^{m-1} e_{pre_{i,u}[k]} \quad (3)$$

$$(Proj(1, Pre_{i,u}[m]) + 1) \cdot D_{Proj(0, Pre_{i,u}[m])} < (u+1) \cdot D_i \quad (4)$$

其中, $i=0, \dots, n-1, j=0, \dots, n-1, u=0, \dots, \lceil t/P_i \rceil - 1, m=0, \dots, w_{i,u} - 1$. 由抢占条件(3)和(4)可之, 实时任务集中各任务的周期、执行时间、启动时间、最终期限决定了抢占引起的开销和抢占关系.

一个实时系统的实时任务集是可调度的, 那么各个实时任务必须在执行的每个周期都满足它的最终期限. 实时任务 T_i 第 u 次执行必须在本次的最终期限到来之前完成, 否则就不满足可调度性的条件. 本次执行所经历的时间区间从任务启动开始至任务执行结束, 包括执行任务本身所需的时间、各个抢占任务每次的执行经历时间和每次抢占的系统额外开销. 因此, 实时任务 T_i 第 u 次执行的可调度性判定条件为:

$$r_{i,u} + C_i + \sum_{k=0}^{w_{i,u}-1} e_{pre_{i,u}[k]} + 2w_{i,u} \cdot O_{pre} < D_i, i=0, \dots, n-1, u=0, \dots, \lceil t/P_i \rceil - 1 \quad (5)$$

如果式(5)被满足, 实时嵌入式系统就是可调度的. 由式(3)、(4)和式(5)可知, 启动时间和执行时间也是决定可调度性的因素.

在 $[0, t]$ 时间区间内, 实时系统总共发生的抢占次数为:

$$N_{pre}(r, t) = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{u=0}^{\lceil t/P_i \rceil - 1} w_{i,u} \quad (6)$$

由于假定每次发生抢占时系统的调度开销都相等, 且未发生抢占时系统每次的调度开销也相等, 因此, 在 $[0, t]$ 时间区间内, 实时系统由抢占导致的额外开销为:

$$O_{preempt}(r, t) = 2 \cdot (O_{pre} - O_{nonpre}) \cdot N_{pre}(r, t) \quad (7)$$

综上所述, 式(3)、(4)、(5)、(6)、(7)构成了由周期性任务组成的采用抢占式 EDF 调度算法的实时嵌入式系统的抢占模型 PEDFModel.

4 改进抢占式 EDF 调度算法

传统的抢占式 EDF 调度算法假定任务的相对启动时间为零, 即在实时任务的周期开始便启动此任务, 也可以认为传统的抢占式 EDF 调度算法没有考虑任务的启动时间这个因素. 由模型 PEDFModel 可知, 实时任务的启动时间是决定系统抢占开销大小和抢占关系的因素之一. 为一个实时任务集选择一组对应的启动时间, 在抢占式 EDF 调度算法中将其作为任务调度的一个参量, 可以改善系统的调度能力, 进而可以提高系统的性能. 由于大多数嵌入式系统自身的计算能力和相关资源严重受限, 在执行过程中动态地计算每个实时任务的启动时间在实际中一般不可行. 因此, 可选的方法应该是将启动时间作为实时任务的静态属性, 选择一种优化方法在桌面计算机系统上以离线的方式计算得到优化的一组启动时间.

因此, 改进的抢占式 EDF 调度算法由两部分组成, 一个是运行于嵌入式系统中的抢占式 EDF 算法 PEDFWithReleaseTime, 它是一组 API 在系统的初始化阶段设置周期性任务的启动时间, 另一个是离线求解优化启动时间的算法 OLOpt-

ReleaseTime.

PEDFWithReleaseTime 算法在每个任务的周期到来时, 只有启动时间到达才会将其插入到就绪队列中, 因此, 这与传统的抢占式 EDF 调度算法在周期到来立刻将任务插入到就绪队列不同. 对周期性任务启动时间的设置仅发生在系统的初始化阶段, 进入正常运行阶段不会对抢占式 EDF 调度算法产生任何负面影响. 调度能力的增强和实时性能的提高主要依赖于离线求解优化启动时间的算法 OLOptReleaseTime 求得的启动时间, 因此, 下面详细讨论算法 OLOptReleaseTime.

本文选择基于遗传算法的优化方法来离线地求解优化的启动时间, 启动时间的优化问题可以抽象为如何选择一组 $r = \{r_i | r_i \in R, r_i > 0, i=0, \dots, n-1\}$, 使得式(7)最小, 并满足约束条件式(5), 即如何在一个 n 维的空间, 搜索一个 n 维向量 $r \in (R^+)^n$, 使得目标函数 $O_{preempt}(r, t)$ 最小, 且要满足式(5)的约束条件, 其中 $R^+ = \{x | x \geq 0, x \in R\}$. 由于这是一个带约束的优化问题, 采用罚函数的方法改造目标函数^[8], 将其变成无约束的优化问题, 结果如下:

$$O_{preempt}(r, t) = \begin{cases} (O_{pre} - O_{nonpre}) \cdot N_{pre}(r, t) & \text{if (5) is satisfied} \\ t & \text{others} \end{cases} \quad (8)$$

OLOptReleaseTime 算法中涉及的遗传操作如下:

(1) 编码与适应度函数

根据上述的问题特点, OLOptReleaseTime 算法采用实数编码以向量的形式表示个体基因, 每个个体就是实时任务集对应的一组启动时间. 由于这是个求最小值的最优化问题, 其适应度函数由待求解的目标函数 $O_{preempt}(r, t)$ 转化而来, 这样适应度越高的个体对应的启动时间对嵌入式系统实时性能的提高就越大. 令 $b \in (R^+)^n$ 标记为个体, $(R^+)^n$ 为个体空间.

适应度函数 $f(b) = t - O_{preempt}(b, t)$

(2) 选择算子

遗传算法选择过程的第一步是计算适应度, 然后根据由适应度决定的被选集中每个个体的选择概率进行选择操作. OLOptReleaseTime 算法的个体选择概率采用按比例的适应度分配方法 (proportional fitness assignment), 这种方法的选择依据是个体适应度的大小, 适应度越高, 该个体被选中的可能性越大, 个体被选中的概率为 p_i 为:

$$p_i = \frac{f_i}{f_i} \quad (9)$$

其中, f_i 是个体 i 的适应度, f_i 是群体中各个体适应度之和. OLOptReleaseTime 算法采用的选择方法为轮盘赌选择法 (roulette wheel selection)^[9].

(3) 交叉算子

交叉是遗传算子产生新个体主要手段, OLOptReleaseTime 算法采用了实数编码的方式编码个体的基因, 每个个体以向量的形式表达, 由于向量的每个分量由其位置决定了它的物理意义, 因此本文采用了单点交叉的方法进行遗传交叉操作, 这样不会出现无意义的个体, 其交叉概率为 p_c .

(4) 突变算子

突变是遗传算子产生新个体的另一个手段, 以突变概率

p_m 选定突变个体,对于突变个体的每个分量增加一个使该分量仍处于分量意义范围的随机数(可以是正数,也可以是负数).

(5) 终止条件

OLOptiReleaseTime 算法在进化过程中,每代都执行计算适应度、选择、交叉、突变等操作,不断反复使群体的素质得到改进,直至取得满意的结果. OLOptiReleaseTime 算法的终止条件根据预先定义的最大进化代数和适应度的变化趋势两个判断,即

终止条件 $l: (N, R^+)^n \in \{True, False\}$, N 为自然数.

5 实验及结果分析

实验的硬件平台是一个基于 8 位微控制器的嵌入式系统,实时操作系统的内核调度程序采用抢占式 EDF 调度算法. 实时任务集由 5 个周期性任务组成,周期从小到大依次为 T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 ,这个实时任务集的属性描述如表 1.

表 1 实时任务集的属性描述

任务标识	周期 (ms)	最坏执行时间 (ms)	启动时间 (ms)
T_0	0.4	0.078	0.0
T_1	1.5	0.279	0.0
T_2	2.4	0.307	0.0
T_3	3.0	0.362	0.0
T_4	6.0	0.1618	0.0

实时系统的参数描述如下:

抢占发生时调度的开销 $O_{pre} = 115.285\mu s$;

抢占未发生时调度的开销 $O_{nonpre} = 71.463\mu s$;

系统的运行时间 $t = 12.0ms$.

采用传统的抢占式 EDF 调度算法和采用改进的抢占式 EDF 调度算法的嵌入式实时系统的相关属性对照如表 2 所示. 由实验可知,采用传统的抢占式 EDF 调度算法抢占次数多额外开销大,且 T_2 的第 4 次执行、 T_3 的第 1 次执行和 T_3 的第 3 次执行不满足可调度性条件,即此时系统是不可调度的;采用改进的抢占式 EDF 调度算法减少了抢占次数,较原算法系统因抢占导致的额外开销降低了 56.25%,并使系统满足了可调度性条件.

表 2 优化前后系统属性对照

	优化前	优化后
抢占次数	32	14
抢占引起的额外开销 (μs)	2804.608	1227.016
启动时间 (μs) $r = (r_0, r_1, r_2, r_3, r_4)$	(0, 0, 0, 0, 0)	(92.211, 85.665, 50.650, 85.779, 64.799)
不可调度集	$T_2, 4$ $T_3, 1$ $T_3, 3$	无
可调度性条件	不满足	满足

6 结论

通过对抢占式 EDF 调度环境下实时任务抢占行为的分析,建立了周期性实时任务集的抢占模型. 由这个模型可知,实时任务的启动时间是抢占开销、任务间抢占关系和系统的可调度性的决定因素之一,而传统的抢占式 EDF 调度算法几乎都假定所有实时任务的启动时间为零,未将其作为调节系统性能的因素. 因而,提出了一个改进的抢占式 EDF 调度算法,一方面在目标系统的实时操作系统内核中将任务的启动时间作为一个调度参数;另一方面利用基于遗传算法的优化方法,依据抢占模型,计算在当前系统自身属性和实时任务集属性约束下的一组优化的启动时间值,这个优化方法是在桌面系统上离线计算得到的,不会影响目标系统的实时性能. 由实验结果可知,采用这个改进的抢占式 EDF 调度算法,会减少系统因抢占引起的额外开销,改变抢占关系,提高系统的可调度能力和实时性能. 就因抢占引起的开销而言,使用这个改进的 EDF 调度算法一般能够减少 40% 左右. 在目标系统中将启动时间作为一个调度参数,对系统调度开销的影响很小,可以忽略.

本文的抢占模型和改进的抢占式 EDF 调度算法,将实际的操作环境作了简化,只考虑了周期性任务组成的实时系统,这限制了它们在工程实际中的应用. 将非周期性的任务也作为该抢占模型描述的对象,建立一个能够刻画由周期性任务和非周期性任务组成的实时系统的抢占模型,并据此改进目前的抢占式 EDF 算法是本文下一步的研究工作.

参考文献:

- [1] Krishna C M, Shin G K. Real-Time Systems [M]. Columbus, OH: McGraw-Hill Companies, Inc. 1997. 73 - 80.
- [2] Katcher D I, Arakawa H, Strosnider J K. Engineering and analysis of fixed priority schedulers [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1993, 19(9): 920 - 934.
- [3] Katcher D I. Engineering and analysis of real-time operating systems [D]. Ph. D. Dissertation, Dept. of Electrical and Computer Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, August 1994.
- [4] Liu C L, Layland J W. Scheduling algorithms for multiprogramming in a hard real time environment [J]. Journal of the ACM, 1973, 20(1): 44 - 61.
- [5] Jeffay K, Stanat D F, Martel C U. On non-preemptive scheduling of periodic and sporadic tasks [A]. Proceedings of the 12th IEEE Symposium on Real-Time Systems [C]. San Antonio, Texas, IEEE Computer Society Press, December 1991. 129 - 139.
- [6] Secka A. Automatic debugging of a real-time system using analysis and prediction of various scheduling algorithm implementations [D]. Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of Maryland, College Park, MD, November 2000.
- [7] Kettler K A, Katcher D I, Strosnider J K. A modeling methodology for real-time/multimedia operating systems [A]. Proceedings of the Real-Time Technology and Applications Symposium [C]. Chicago, Illinois, IEEE Computer Society Press, May 1995.

[8] Michalewica Z, Janikow C. Handling constraints in genetic algorithms [A]. Proceedings of the fourth international conference on genetic algorithms [C]. San Mateo, CA, Morgan Kaufmann Publishers, 1991. 151 - 157.

[9] Goldberg D E, Deb K. A comparative analysis of selection schemes used in genetic algorithms [A]. Foundations of Genetic Algorithms [C]. San Mateo, CA, Morgan Kaufmann Publishers, 1991. 69 - 93.

作者简介:



王济勇 男, 1975 年 1 月生于山东潍坊, 1993 ~ 2000 年就读于辽宁石油化工大学分别获计算机应用技术专业理学学士和工学硕士, 2000 年至今就读于东北大学师从赵海教授攻读计算机应用技术专业博士学位, 研究方向是嵌入式系统, 当前主要对带有开销的实时调度机制建模和基于寄生思想的实时性能优化方法研究。作为主要研究人参与一项国家自然科学基金, 获两项实用新型专利, 一项辽宁科技进步二等奖。Email: buyi@mail.neu.edu.cn



林涛 男, 1975 年 1 月 16 日生于辽宁朝阳, 东北大学信息科学与工程学院, 博士研究生, 研究方向为嵌入式 Internet, 主要研究领域为嵌入式计算及网络协同工作。对嵌入式实时内核及嵌入式 TCP/IP 协议有深入研究。参与并领导过若干科研项目及产品的研发。曾获得辽宁省科技进步二等奖, 获得两项国家专利。

征文通知

第一届中国可信计算与信息安全学术会议 CTCIS 2004

中国计算机学会容错计算专业委员会主办
武汉大学、国防科技大学承办

第一届中国可信计算与信息安全学术会议 CTCIS 2004 拟定于 2004 年 10 月在武汉大学举行。现将有关征文事宜通知如下:

1. 征文范围

会议重点征集可信计算与信息安全的理论和技术方面的研究论文。具体包括:

- (1) 可信计算体系结构: 可信计算机体系结构, 可信计算软件体系结构, 容错计算;
- (2) 可信软件: 软件可信性, 操作系统安全, 数据库安全, 软件容错, 软件测试;
- (3) 可信硬件: 可信硬件, 安全芯片, 智能卡, 硬件测试;
- (4) 网络与通信安全: 网络安全的理论与技术, 网络攻防, 网络安全管理、通信安全;
- (5) 密码学: 密码学的理论与技术、密钥管理;
- (6) 信息安全技术: 计算机病毒技术, 信息隐藏, 数字水印, 身份识别;

(7) 信息安全应用: 电子政务安全, 电子商务安全, 信息安全管理, 信息安全法律。

2. 征文要求

论文必须为未公开发表且未向学术刊物和其它学术会议投稿的最新研究成果, 文稿使用中文或英文书写, 字数一般不超过 6000。将论文全文(注明作者的联系电话和 E-mail 地址)通过 E-mail 发至: E-mail: lnawang@163.com 王丽娜; Email: liss@whu.edu.cn 张焕国

3. 重要日期

征文截止日期: 2004 年 5 月 31 日 录用通知: 2004 年 6 月 25 日 返回修改稿: 2004 年 6 月 10 日

4. 联系人

王丽娜 刘玉珍 张焕国
电 话: 027 - 87653733, 027 - 87860862
邮 编: 430079