

文章编号: 1005-0523(2014)06-0078-09

面向系统级能耗优化的无线实时网络系统任务调度机制

朱 荣, 袁朝晖, 曹义亲

(华东交通大学软件学院, 江西 南昌 330013)

摘要:传统的能耗优化方法通常利用CPU的DVFS协议以及射频通信休眠调度来减少耗能。却很少有工作在对系统任务负载的调度和运行模式分配的同时考虑计算/通信两个子系统对能耗的综合优化。此外,传统的能耗优化机制通常只考虑系统的总能耗最优,而忽略了系统中个别节点能源耗尽对网络连通性所产生的影响。提出一种以系统寿命最大化为目标的任务调度和工作模式分配机制。该机制根据任务的实时性约束条件和节点的剩余能量调度任务,通过控制DVFS协议给予任务设定工作频率,同时利用射频休眠调度来实现系统能耗和寿命的折中平衡。仿真实验的结果表明,任务调度与分配算法在无线嵌入式网络系统的能耗和寿命表现上优于传统的方法。

关键词:无线嵌入式网络;任务调度分配;DVFS协议;通信休眠调度

中图分类号:TP393

文献标志码:A

近年来,无线嵌入式网络(wireless embedded real-time networks, WERNs)发展迅速,在灾害检测、目标监控等领域展现出极为广泛的应用前景。作为典型的无线网络系统,WERNs由大量通过无线连接的具备有限的计算和通信能力的微型嵌入式节点互联组成^[1-16],这些节点一般依靠电池供电,其电池续航能力十分有限。同时,通常的WERNs中节点均部署在较为恶劣的环境或人类不宜到达的区域,为这些节点更换电池的成本极为高昂。因此,采用合理的机制和方法来达到节省能耗并最大化整体使用寿命成为无线嵌入式网络系统的首要挑战^[2-15]。

合理的任务节点分配和运行模式设定是获得较长网络生命周期的有效途径之一。首先,当一个节点的电池耗尽时,不仅该节点无法正常工作,还可能因为该节点的失效而造成系统的通信链路断开,从而使整个系统失效。因此,WERNs中的任务负载要优先分配到电量较为充足的节点上运行。其次,当前的嵌入式CPU均支持动态电压频率调节机制(DVFS)^[23-24],在满足实时任务完成时间约束条件下,适当的调低CPU的电压和运行频率能有效降低耗能。例如,文献[3]考虑周期抢占式硬实时任务分配问题,实现了能量消耗最小化。文献[5]提出多项式时间的最优任务分配算法。在文献[4]和[7]中,作者提出同时考虑任务的通信量和数据处理量进行任务分配以实现分布式实时系统的利用率最大化。在文献[12]和[13]中,作者分别做了能量意识的调度机制和硬实时的任务在多处理器分配机制的综述。这些研究成功的利用了系统的DVFS协议,然而这些工作均没有考虑通信子系统的能耗影响。

除计算子系统外,射频通信子系统也是WERNs中耗能的主要因素之一。一个有效的方法是使射频模块空闲的时候进入休眠模式,已有许多通信休眠调度机制被提出来并被实现。例如IEEE的802.11协议的休眠模式^[29],无线传感器网络中的MAC协议^[27-28]等。然而,这些通信调度协议不考虑CPU的工作,无法达到系统

收稿日期:2014-10-12

基金项目:国家自然科学基金(61163056);江西省自然科学基金(20114BAB211018);江西省教育厅科技(GJJ12324);江西省研究生创新专项(YC2013X010)

作者简介:朱荣(1990—),男,硕士研究生,主要研究方向为信息物理系统、移动计算。

通讯作者:袁朝晖(1976—),男,副教授,博士,研究方向为分布式系统高度与优化、移动计算、信息物理系统。

级的能耗优化的目的。针对这些问题,以最大化系统寿命和最小总能耗为目的,提出一种任务调度和运行模式分配机制。该机制将系统接收的任务优先分配给剩余能量较多的节点,在满足系统整体实时约束的条件下调节 DVFS 协议以节省耗能,并根据接收和发送的数据量调节通讯模块的睡眠开合周期,从而在满足系统的要求。仿真实验表明,所提出的任务分配机制在系统寿命和总耗能的表现上优于其他两种典型的调度机制^[25-26]。

1 系统模型

形如常用的无线传感器网络系统, WERNs 由随机分布在有限区域中的 M 个的节点组成。假设对于任意两个节点 i 和 j ($i, j=1, \dots, M$ 且 $i \neq j$), 存在一条稳定的无线通信链路使其相连。然而, WERNs 的节点由电池供电且通常情况下难以更换电池, 因此当一个节点的电池耗尽时, 不仅该节点无法正常工作, 还可能由于该节点的失效而造成系统的通信链路断开, 从而使得整个系统无法工作。因此, 系统中负载任务的分配和调度的目标不仅是能耗的最小化, 还应考虑系统整体工作寿命的最大化。对于系统中的每一节点 i , 电池的消耗主要由两大子功能模块造成, 射频通信模块和数据处理模块^[4], 其能耗模型如下。

1.1 通信耗能

通信能耗不仅与发送和接收的数据量相关, 而且与通信距离有关。常用的无线嵌入式节点的射频模块通常由发送电路、放大器和接收电路组成^[15], 假设发送电路和接收电路的能耗均为 $a \text{ pJ} \cdot \text{bit}^{-1}$, 而放大器的能耗为 $b \text{ pJ} \cdot \text{bit}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ (由文献^[15]可知, a 和 b 通常分别取 50 和 100)。在节点 i 发送 d 比特数据到距离为 s 的节点 j 的情况下, i 和 j 的发送通信耗能 E_s 和接收通信耗能 E_r 可以分别通过下式计算:

$$E_s(d, s) = ad + bds^2 \quad (1)$$

$$E_r(d) = ad \quad (2)$$

1.2 计算耗能

除通信子模块外, 计算处理子系统是另一个主要消耗节点能量的因素。计算处理的能耗不仅与处理的数据量有关, 还与处理器的实时工作频率有关^[16]。对同一个任务, 不同的工作频率对应不同的能耗和执行时间。常用的节点 CPU 动态电压频率调节功能 (DVFS) 通常支持多种离散的工作频率^[14]。例如, Intel Xscale PXA270 处理器支持 7 种不同的工作频率^[22], 624, 520, 416, 312, 208, 104 MHz 和 13 MHz 以及与之相应递减的功率消耗, 如表 1 所示。同时, 对同一任务的处理时间随 CPU 工作频率的上升而单调下降。

表 1 Intel Xscale PXA270 能耗模型

Tab.1 Intel Xscale PXA270 power model

频率/MHZ	工作模式/mW	空闲模式 mW
624(208 MHz System bus)	925	260
520(208 MHz System bus)	747	222
416(208 MHz System bus)	570	186
312(208 MHz System bus)	390	154
312(104 MHz System bus)	375	109
208(208 MHz System bus)	279	129
104(104 MHz System bus)	116	64
13(CCCR[CPDIS]=1)	44.2	15.4

2 任务模型

WERNs 的工作任务通常由多个分布在成员节点中运行的子任务组成。例如, 在无线传感网中, 聚族中各节点分别进行数据采样并将采样结果或者局部判断发送给簇头节点, 簇头节点根据收到的信息进行最终的全局判断。系统的检测任务可以划分为各子节点上的采样子任务和簇头节点上的数据融合子任务。由于节点间数据传输的需要, 各子任务之间根据数据传递相关性存在着一定的先后关系。一个系统的工作任务可以用一个有向无环图 $S_{\text{DAG}} = (T, V)$ 表示, 其中 T 为子任务集, V 为子任务之间连接关系集; 而子任务 T_i ($T_i \in T, i=1, \dots, N$) 可由一个 6 元组 $(D_i, m_i, d_i, T_{\text{cpi}}, E_{\text{cpi}}, E_{\text{cmi}})$ 描述, 其中 D_i 是子任务 T_i 的处理数据量, m_i 为 T_i 接收到的数据量, d_i 是 T_i 发送数据量。 T_{cpi} 为 T_i 的执行时间, E_{cpi} 是数据处理耗能, E_{cmi} 为 T_i 的通信耗能, 根

据发送和接收的数据量可由式(1)+(2)计算得出。

3 问题定义

作为分布式实时系统中经典的NP问题^[13,17],以利用率或能耗为主要目标的任务调度和分配方法已经被广泛研究^[3-11]。然而,在WERNs中,系统中任务的分配与调度不仅要最小化耗能,还必须考虑系统中各节点的能耗均衡,使得系统的寿命最大。此外,任务的实时性约束也对任务分配和节点CPU的频率设置产生要求。因此分布式无线嵌入式实时系统的任务分配和调度问题可以形式化描述如下。

给定①任务群的子任务关系图 $S_{DAG} = (T, V)$; ②该任务的完成时间约束 L ; ③无线嵌入式实时系统 $G = (j | j = 1, \dots, M)$; ④节点 j 的DVFS协议频率能耗表 $(F_k, E_k | k = 1, \dots, N)$ 。

问题的目标:①分配子任务 $T_i (T_i \in T_{DAG}, i = 1, \dots, N)$ 给节点 j ; ②设置节点 j 的CPU运行频率 F_j 和当前通信休眠周期 K_j 。

使得任务完成后剩余能量最小的节点能量最大化,即

$$\text{Max}_{i=1, \dots, N, j=1, \dots, M} \left\{ \min \left\{ \frac{E_{cpi} + E_{r(i-1)} + E_{si}}{E_j} \right\} \right\} \quad (3)$$

同时满足:

$$T_{DAG} \leq L \quad (4)$$

其中: E_j 为节点 j 的剩余能量, E_{cpi} 为任务 T_i 在节点 j 上的数据处理能耗,而 $E_{r(i-1)}$ 和 E_{si} 分别为任务 T_i 在节点 j 上的接收通信能耗和发送通信能耗。 T_{DAG} 为任务群的执行时间。式(3)描述了系统的寿命和总的耗能,而式(4)则为系统的实时性约束条件。

4 节点任务调度机制

对于一个NP(非确定多项式)问题,常用的最优解算法往往由于计算复杂而耗时过长,无法在实时系统中得到应用。例如,文献[19-21]研究了智能计算在任务调度和分配中的应用,但是这些方法的计算时间过长,在无线嵌入式系统中难以满足实时性约束。因此本文中提出的调度分配机制,其设计目的基于以下目标:①根据(3)式可知,系统的任务调度和分配需最大化系统的寿命,即剩余能量较多的节点优先分配到任务,防止某一个节点失效。②由式(4)可知,系统的时间约束必须得到保证,系统的调度和能耗调节需要满足系统实时性约束条件。③系统的射频模块睡眠周期需要根据任务的完成时间加以调节使得通讯耗能最小。

根据上述设计目标,所提出的机制包含3个部分。首先,为了满足系统任务的时间约束,使用基于关键路径的方法保证系统的实时性。在此基础上,启发式调节各条路径上的频率,使得系统关键路径上的节点在最优模式能耗上运行。再次,在满足系统的实时性约束的情况下,算法根据任务节点计算量的大小和处理器节点剩余能量进行任务和处理器的分配,实现系统的寿命最大化。最后,根据子任务之间的时间约束关系统一调配各子任务节点的通信睡眠周期,实现系统通讯耗能的最优。其具体步骤如下。

4.1 基于关键路径方法的实时性保证策略

任务的实时性约束是系统调度和分配的首要目标之一。而在任务的调度过程中,子任务的计算负载和通讯负载均主要由该子任务的数据量决定^[4]。因此,算法中首先将子任务图中各节点的数据量作为权值,使用基于关键路径^[18]的搜索方法,找出子任务关系图中耗时最长的路径,用于满足系统的实时性约束。图1给出了一个任务群图的变换及其关键路径搜索过程,其具体的步骤描述如下:①对任务群中的所有边进行编号(如图1(a)所示);②将图中的边转换为点,将点转换为边,求出该子任务图的对偶图(如图1(b)所示);③加入源点和汇节点,将对偶图中所有的无起始节点边接入源点,无终点边接入汇点并保留原始边权值,使该任务图成为AOE网络(如图1(c)所示);④使用文献[18]中的算法找出关键路径(如图1(d)所示)。

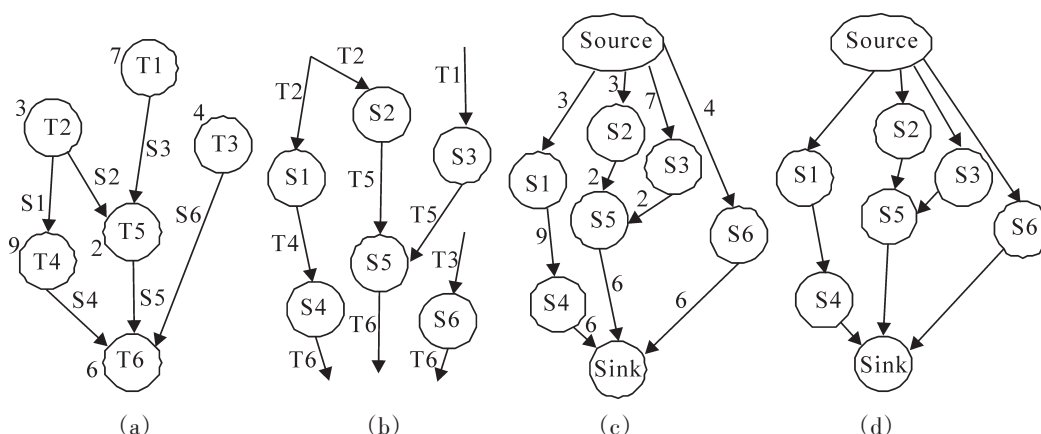


图1 任务群变换

Fig.1 Task group transformation

4.2 节点CPU的DVFS设定和调整

关键路径上的任务决定任务群的最终完成时间,然而4.1节中的关键路径算法利用的权值为节点上任务的最小完成时间,即:所有任务均由相应节点使用最高频率执行时的最短路径。在实际的调度过程中,为了使系统的寿命最大,同时最小化节点耗能,在满足任务实时性的条件下,可以使用DVFS协议将CPU工作模式设定或调整为较低的频率运行。DVFS调整算法伪码描述如算法1所示。

算法1:任务群节点工作频率设定和调整

输入: S_{DAG} 任务结构图。

输出:任务群中所有子节点的工作频率

- 1 对 S_{DAG} 进行拓扑排序,求出 S_{DAG} 中所有的 G 条路径并按路径的权值从大到小排序;
- 2 for 路径 P_i 到 P_G
 - 2.1 分类 P_i 上的节点① 已设定工作频率的节点(q 个);② 未设定的节点($H_i - q$ 个);
 - 2.2 对 P_i 上的 $H_i - q$ 个未设定工作频率的子任务根据数据量从小到大排序;
 - 2.3 设置 $H_i - q$ 个任务的运行频率为节点最高的工作频率,计算路径的完成时间 T
 - 2.4 if ($T \leq L$) then
 - for $j=1$ 到 $H_i - q$
 - 2.5 调整任务 T_j 工作频率到低一级模式
 - 2.6 重新计算该路径完成时间 $T = g(S_i, F)$
 - if $T > L$ break
 - else $j++$
 - end if
 - end for
 - end if
- 3 end for

在算法1中,首先使用拓扑排序,以找出任务图 S_{DAG} 中的所有路径,并按照路径的权值从大到小进行排序,对权值较大的路径进行优先处理。在2.1至2.3行中,设置所有未处理节点的初始频率为最高值,以首先满足任务群的实时性约束。假设对于每个子任务,其完成时间 T_{cpi} 与数据量 D_i 和工作频率 F 之间直接存在着递增关系 $T_{cpi} = g(D_i, F)$ (其中函数 $g(\cdot)$ 可以由系统经训练求出。例如,通常情况下,图像处理中的小波变换执行时间与图像的数据大小和执行频率之间存在线性递增关系。)。则在2.4行到2.6行中,在保证任务时间约束条件下适当调低CPU的工作频率,以实现计算子系统的能耗优化。由算法描述可知,该算法的主要计算为

拓扑排序和路径权值的排序,其中拓扑排序的复杂度为 $O(N+e)$, N 为任务群中节点的个数, e 为边数;而路径权值在快速排序的时候,其时间复杂度为 $O(N \log N)$,因此,该算法总的时间复杂度为 $O(N \log N)$ 。

4.3 任务节点与CPU节点的映射

在一个 WERNs 系统中,由于系统中单个节点可能担任通信中继的角色,该节点的电能耗尽则会导致整个系统失效,因此,系统中总的能耗最小并不代表系统的最优。为了实现系统的生命周期最大化,任务群中子任务节点与系统中 CPU 节点之间映射的首要原则为使用剩余能量较多的节点,并且尽量分配数据量较大的任务,同时最小化该任务的通信代价。

由第3节中问题定义可知,当子任务 $T_{(i-1)}$ 传递数据给子任务 T_i 的时候,若将子任务 T_i 分配(映射)到节点 j 上运行,则该分配所产生的能耗代价 z_{i-j} 可以计算如下

$$z_{i-j} = \frac{E_{cpi} + E_{r(i-1)} + E_{si}}{E_j} \quad (5)$$

算法2:子任务分配

输入: S_{mac} 任务群图,路径集合 $\{P_i = (S_i, H_i) | i = 1, \dots, k\}$, 无线嵌入式实时系统 $G = (j | j = 1, \dots, M)$

输出: 所有子任务与节点的映射 $F(T_i \rightarrow G)$

1 对 k 条路径按照路径的长度从大到小进行排序;

2 for $i = 1$ 到 k

for $h=1$ 到 H (路径 k 上的子任务个数 H)

if (子任务 h 未分配)

2.1 利用(5)式计算 G 中未分配子任务的所有节点的 z 值

2.2 分配任务 h 给最小 z 值的节点。

2.3 按照算法1得出的频率分配表确定节点的 $j_{i-\min}$ 频率

End if

End for

3 End for

在算法2中,首先将所有的路径按照权值进行排序。针对系统 G 中所有的未分配任务的节点,利用(5)式计算出其分配当前子任务后的 z 值,并将该任务分配给 z 值最小(即能耗寿命最优)的处理节点,并为该节点设置工作频率。该算法的时间复杂度为 $O(N \cdot M)$, 其中 N 为任务图中节点的个数,而 M 为无线嵌入式系统 G 中节点的个数。

4.4 节点射频休眠周期调整

除计算处理模块外,射频模块也是系统中耗能的重要因素。合理的通信休眠调度能在满足系统实时性约束条件下有效的降低能耗。算法3描述了节点射频模块睡眠周期设定过程。在该算法中,每一个分配到任务的节点根据该任务的预计完成时间设定后续节点的通信开启时间,并在自身完成计算任务的时候调度节点通讯模块进入休眠状态,以实现能耗的最低。该算法伪码描述如下:

算法3:节点的睡眠周期设定

输入: 路径集合 $\{P_i = (S_i, H_i) | i = 1, \dots, k\}$, 节点-任务映射 $F(T_i \rightarrow G)$

输出: 节点的射频休眠周期

1 for $i = 1$ 到 k (k 为路径数)

2 for $h=1$ 到 H (路径 k 上的子任务个数 H)

if (子任务 h 映射节点的射频激活时间未设定)

2.1 激活射频模块并设定时间为当前时间 T_0

end if

2.2 设定当前节点休眠时间为 T_{cp} ; (其中 T_{cp} 为子任务 h 的预定处理时间)

2.3 与所有后续节点同步并设定其激活时间为 $T_0 + T_{cp}$

End for

3 End for

5 仿真实验

5.1 实验设定

仿真实验模拟 10 个 Intel Xscale PXA270 处理器组成的分布式处理系统。在该系统中,每个处理器的初始剩余能量随机分配。两个处理节点之间的距离从 2~10 m 之间随机产生。节点模拟支持 7 种工作频率,分别为 624, 520, 416, 312, 208, 104, 13 MHz, 其相应的功耗由表 1 给出。任务群模拟由工作量随机取值于 5~10 Mflops 之间的子任务组成,每次浮点计算占用 6 个 CPU 时钟周期,数据量由 0.1~10 M 之间选取。射频模块耗能由 CC2420 射频耗能规格定义,如表 2 所示^[30]。

系统的生命周期采用文献[19]中的定义,即以第一个处理器节点因能量耗尽而失效的时间作为系统的寿命。系统模拟不同的任务群连续载入,直到系统中有一个处理器节点能量耗尽,同时记录系统的寿命和总的能量消耗。为了验证所提出的任务调度和分配机制在系统的能耗和寿命方面的表现,本文使用两种任务调度机制作为对比。第一种任务调度机制为 ILP 机制,由 Yu 等人提出的,基本思想是将系统的任务调度和分配建模为多约束条件下的优化问题,并使用线性规划求解^[25],以实现节省耗能的目的。第二种任务调度机制为 EcoMapS 机制,由 Tian 等人提出的,在该机制中,研究者综合考虑计算和通信能耗,最小化调度长度,以实现节省耗能的目的^[26]。本文中所提出的算法命名为 EeTSA 机制。

5.2 实验结果

为了验证在网络状态不同的时候三种机制的性能表现,模拟了系统中所有节点的初始能量总和由 20~300 J 之间变化时所有机制的表现。实验结果如图 2 和图 3 所示,图 2 画出了不同初始能量条件下 3 种机制在执行相同的任务群的时候的总耗能情况。而图 3 画出了系统的寿命随初始能量变化曲线。当处理系统中总的电能增加的时候,系统的能耗和系统的寿命也不断增加,而本文中提出的 EeTSA 机制均优于两种对比机制。当节点的剩余能量较大的时候,EeTSA 的能耗优势更加明显。

表 2 CC2420 射频能耗规格

Tab.2 RF transceiver data sheet of CC2420

模式	能耗
传送距离/m	16
发送耗能/mW	31
接收耗能/mW	35
睡眠耗能/mW	2

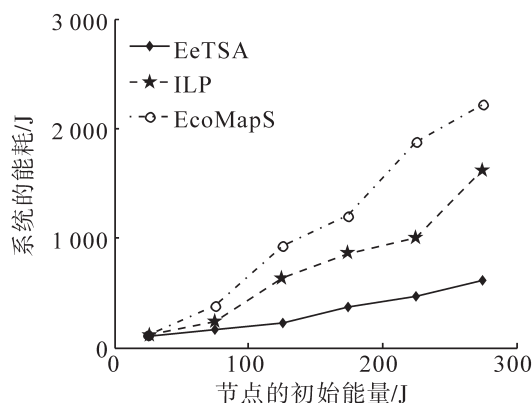


图2 系统的总能耗表现

Fig.2 Energy consumption performance

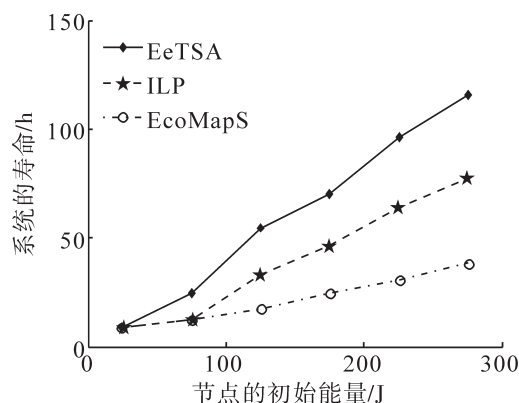


图3 系统的总体寿命表现

Fig.3 System-life performance

为了验证不同工作负载条件下3种机制的能耗表现,模拟在1 min内分别载入不同数量的任务群,图4和图5画出了在工作负载不断增加时系统的总能耗和系统寿命。由图中可知,当系统中载入的工作负载不断的增加,系统的能耗不断上升,但是系统的寿命不断下降,同时可以看出EeTSA机制均优于两种对比算法。由于ILP机制没有优化射频子模块的休眠调度,以至于浪费电能同时减少了系统的寿命。而EcoMapS机制,并没有将DVFS协议和通信休眠机制统一进行调度。因此EeTSA算法的表现优势和文中所提出的算法设计机理是相符的。

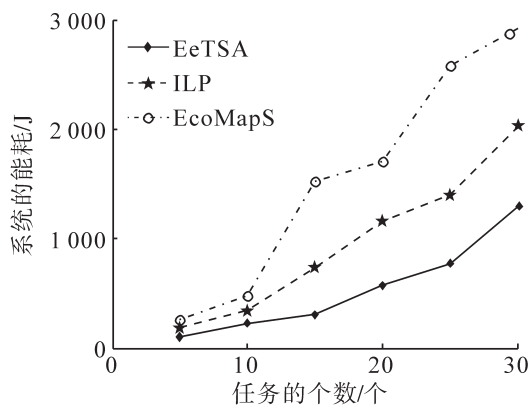


图4 任务负载变化时的总能耗

Fig.4 Energy consumption vs. task load

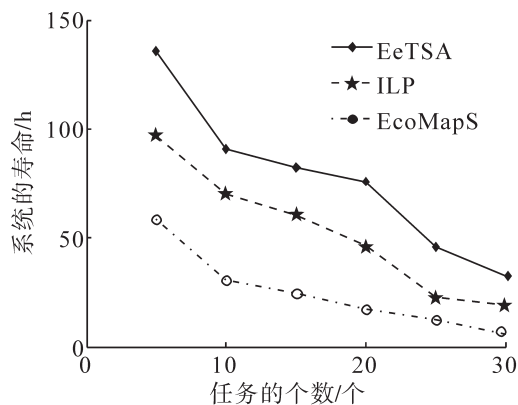


图5 任务负载变化时的系统寿命

Fig.5 System-life vs. task load

6 结束语

无线嵌入式实时系统的最优任务分配和调度问题是一个经典的NP问题,确定性的算法可能由于计算的过于复杂从而导致系统的实时性无法得到保证。以最大化系统使用寿命为目的,提出一种优化耗能的任务调度和运行模式分配机制。该机制将系统接收的任务优先分配给剩余能量较多的节点,在满足系统整体实时约束的条件下调节DVFS协议以节省耗能,并根据接收和发送的数据量调节通讯模块的睡眠开合周期,从而达到满足系统实时性约束下最大化系统的使用寿命和最小化系统总能耗的目的。通过大量的仿真实验表明,本文提出的任务分配机制在系统寿命和系统耗能的表现上优于经典的调度机制。

参考文献:

- [1] 朱敬华, 高宏. 无线传感器网络中能源高效的任务分配算法[J]. 软件学报, 2007, 18(5):1198-1207.
- [2] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社, 2005:12-13.
- [3] TAREK A, HAKAN A. Energy-aware task allocation for rate monotonic scheduling[C]//Real Time and Embedded Technology and Applications Symposium, IEEE 2005. RTAS 2005:213-223.
- [4] HU X, XING G L, LEUNG J Y. Exploring the interplay between computation and communication in distributed real-time scheduling[J]. IEEE Transactions on Computers, 2011, 60(12):1759-1771.
- [5] SRIVASTAVA A, SOBAJE J, POTKONJAK M, et al. Optimal node scheduling for effective energy usage in sensor networks[C]//IEEE Workshop on Integrated Management of Power Aware Communications Computing and Networking, Springer, 2002.
- [6] DREWS F, WELCH L, JUEDES D A, et al. Utility-function based resource allocation for adaptable applications in dynamic distributed real-time systems[C]//18th International Parallel and Distributed Processing Symposium, IEEE, 2004.
- [7] HU X, LEUNG J Y. Integrating communication cost into the utility accrual model for the resource allocation in distributed real-time systems[C]//The 14th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications,

- IEEE, 2008:217-226.
- [8] AYDIN H, YANG Q. Energy-aware partitioning for multiprocessor real-time systems[C]//The 17th International Parallel and Distributed Processing Symposium, IEEE, 2003.
- [9] MISHRA R, RASTOGI N, ZHU D, et al. Energy aware scheduling for distributed real-time systems[C]//The 17th International Parallel and Distributed Processing Symposium, IEEE, 2003.
- [10] ZHU D, MELHEM R, CHILDERS B R, et al. Scheduling with dynamic voltage/speed adjustment using slack reclamation in multiprocessor real-time systems[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2003, 14(7):686-700.
- [11] YANG Y, PRASANNA V K. Power-aware resource allocation for independent tasks in heterogeneous real-time systems[C]//The Ninth International Conference on Parallel and Distributed Systems, IEEE, 2002:341-348.
- [12] WANG L, XIAO Y. A survey of energy-efficient scheduling mechanisms in sensor networks[J]. Mobile Networks and Applications, 2006, 11(5):723-740.
- [13] DAVIS R, BURNS A. A survey of hard real-time scheduling for multiprocessor systems[J]. ACM Computing Surveys (CSUR), 2011, 43(4):113-124.
- [14] SEMERARO G, MAGKLIS G A, BALASUBRAMONIAN R, et al. Energy-efficient processor design using multiple clock domains with dynamic voltage and frequency scaling[C]//The Eighth International Symposium on High-Performance Computer Architecture, IEEE 2002:29-40.
- [15] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A, BALAKEISHNAN H. Energy-efficient communication protocol for wireless micro-sensor networks[C]//The 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE, 2000.
- [16] YUAN Z H, ZHANG Y P, XUE C J. Sleep-aware mode assignment in wireless embedded systems[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2011, 71(7):1002-1010.
- [17] AMINIT N, FAZELI M, MIREMADI S. Distance-based segmentation: an energy-efficient clustering hierarchy for wireless micro-sensor networks[C]//The Fifth Annual Conference on Communication Networks and Services Research, 2007:18-25.
- [18] HUANG S T, PANG T M. A new method of identifying critical paths for performance optimization[C]//The 4th European Conference on Design Automation, 1993:455-459.
- [19] 梁华为, 陈万明, 李帅. 基于蚁群优化的无线传感器网络能量均衡路由算法[J]. 模式识别与人工智能, 2007, 20(2):275-280.
- [20] 易本顺, 陈杰, 肖进胜. 无线传感器网络优化的任务管理算法研究[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(11):2606-2611.
- [21] 沈艳, 郭兵, 丁杰雄, 李迅波. 无线传感器网络节能动态任务分配[J]. 四川大学学报:工程科学版, 2008, 40(4):143-147
- [22] YE X, ZHOU H Y, TAO W J. Real-time 1.264/AVG decoder implementation on PXA270[C]// The International Conference on Communications, Circuits and Systems, 2007:819-821.
- [23] MANZAK A, CHAKRABARTI C. Variable voltage task scheduling algorithms for minimizing energy/power[J]. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems, 2003, 11(2):270-276.
- [24] YAO F, DEMERS A, SHENKER S. A scheduling model for reduced cpu energy[C]//Proceedings of Symposium Foundations of Computer Science, 1995:374-382.
- [25] YANG Y, VIKTOR K, PRASANNA B. Energy-balanced task allocation for collaborative processing in wireless sensor networks [C]//Conference on Languages, Compilers and Tools for Embedded Systems, 2003.
- [26] TIAN Y, EYLEM E, FUSUN O. Energy-constrained task mapping and scheduling in wireless sensor networks[C]//IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference, 2005.
- [27] INJONG R, WARRIER A, MAHESH A, et al. Z-MAC: A Hybrid MAC for Wireless Sensor Networks[J]. IEEE/ACM Transactions on networking, 2008, 16(3):511-524.
- [28] YE W, HEIDEMANN J, ESTRIN D. An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks[C]//The Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 2002:1567-1576.
- [29] NATKANIEC M, PACH A R. A new channel access protocol for wireless LANs[C]//The 5th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, 2002:1351-1355.
- [30] KIM Y W, LEE S J, KIM G H. Wireless electronic nose network for real-time gas monitoring system[C]//The IEEE International Workshop on Robotic and Sensors Environments, 2009:169-172.

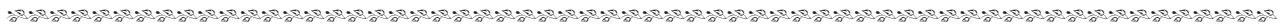
Energy-efficient Task Scheduling and Allocating in Wireless Embedded Network Systems

Zhu Rong, Yuan Zhaohui, Cao Yiqin

(School of Software, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Traditional energy efficient task scheduling and allocating scheme in wireless embedded network system normally focus on either the DVFS protocol at CPU which adjusts the frequency of CPU at runtime, or the sleep/awake mode of communication module which saves energy when there is no transmission. However, little work has been done to deal with the computing and communicating subsystem as a whole. Moreover, the traditional schemes only aim at the system-level energy consumption, not even being aware that the system would cease work if the connectivity were broken as some nodes died with no energy. In this study, a system-life maximizing task scheduling and allocating algorithm is proposed, which controls the DVFS protocol at CPU and the sleep scheduling at the communication module as a whole, according to the remaining energy resource of each node. Meanwhile, the proposed scheme reaches the system real-time deadline constraint. Simulation results demonstrate that the proposed scheme offers better system performance.

Key words: wireless embedded network; task scheduling; DVFS protocol; sleep scheduling



(上接第72页)

Research on Railway Network Promoting Poyang Lake Ecological Economic Zone Development

Xu Yuping¹, Wu Honghua², Guang Xiaoxia³, Li Xin¹

(1. School of Railway Tracks and Transportation, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. State Key Laboratory of Traction Power, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

3. Guiyang urban Rail Transit Co., Guiyang 550000, Chian)

Abstract: With the rise of central China, Jiangxi province has been devoting itself to build comprehensive transportation hub and construct the ring of Poyang lake railway channel for the development of Poyang lake ecological economic zone. Based on the present status of Poyang lake ecological economic zone development, this paper analyzes the influences of the railway network construction on fueling region economic growth, creating jobs, strengthening intercity connection, promoting the integration of urban and rural economy, pushing forward the process of urbanization and speeding up the upgrading of Poyang lake ecological economic zone tourism structure.

Key words: railway network; Poyang lake ecological economic zone; economic development