

基于 MSP430 的无线传感器节点动态功率管理研究

尹光洪¹, 郭敏¹, 田曦¹, 唐修俊²

(1. 国防科技大学 电子科学与工程学院, 湖南长沙 410073; 2. 三一重工股份有限公司, 湖南长沙 410100)

摘要:针对无线传感器网络节点低功耗设计问题,介绍无线传感器节点组成及其能耗,分析动态功率管理原理及其算法,研究混合自动控制并对其进行改进。改进的混合自动控制算法通过对环境变量的变化值划分来控制无线收发模块的收发频率,能减少收发次数,降低系统功耗。最后介绍了在 MSP430, nRF905 和 SCA3000 组成的无线加速度传感器系统中对倾斜角测量时改进的混合自动控制算法的应用。

关键词:混合自动控制; 动态功率管理; 无线传感器; 低功耗设计

中图分类号: TP212

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2010)08-0163-04

Research of Dynamic Power Management in Wireless Sensor Nodes Based on MSP430

YIN Guang-hong¹, GUO Min¹, TIAN Xi¹, TANG Xiu-jun²

(1. School of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, 410073, China;

2. Sany Heavy Industry Co. Ltd., Changsha 410100, China)

Abstract: Aiming at difficulties of low-power consumption design of wireless sensor network nodes, the constitution and power consumption of wireless sensor network nodes are introduced, the dynamic power management and its algorithms are analyzed, the hybrid auto control is studied and improved. The improved hybrid auto control algorithm divided the variation values of environment variable into different parts to control the transceiving frequency of the transceiver module, the way which can reduce frequency of transceivers and the power of system. The improved hybrid autocontrol algorithm are applied in the wireless system composed of MSP430, nRF905 and SCA3000 to measure tilt angles.

Key words: hybrid auto control; dynamic power management; wireless sensor; low-power consumption design

0 引言

无线传感器网络是由多个带有传感器、数据处理单元和通信模块的节点组织而成的网络,因为在军事、工业、医疗、农业等领域的巨大应用前景而成为近年来的研究热点。由于无线传感器节点通常工作在人们难以触及的环境中,并且节点能量有限,难以补充,所以降低功耗、延长使用寿命成为无线传感器网络设计的核心问题。因此,传感器网络的体系结构、通信协议、算法、电路和感知都必须满足能量有效性。就降低单个无线传感器节点功耗而言,除在硬件设计时采用低功耗元件外,动态功率管理^[1](Dynamic Power Management, DPM)和动态电压调节(Dynamic Voltage Supply, DVS)都能有效地降低系统功耗。DPM的基本原理是传感器节点内部各个设备根据需求在不同工作状态下进行转换,减少节点不必要的开支,DPM能尽可能使系统各部分运行在节能模式下,从而降低系统功耗。本文从低功耗设计的角度出发,介绍了无线传感器节点系统组成,分析了DPM原理及其算法,研究了混合自动控

制并对其进行改进,最后通过在MSP430和nRF905无线加速度传感器系统中介绍了改进的混合自动控制算法的应用。

1 系统组成及低功耗设计

系统组成如图1所示,数据处理单元采用TI公司MSP430系列单片机,无线收发模块采用Nordic公司的nRF905。目前国内外出现了许多典型的无线传感器网络硬件平台,其中MSP430系列单片机以其卓越的性能和超低功耗特性,在电池供电的无线传感器节点设计中具有独特的优势。其低功耗特性有:CPU和外围模块可以在不同时钟下运行,外围模块在不使用时可以关闭以节省能耗;处理器的功耗与工作频率成比例,工作在低频方式下将大大降低处理器的功耗;CPU功耗可以通过开关状态寄存器的控制位来控制;正常运行时电流为160 μ A,备用时仅为0.1 μ A,功耗极低,为设计低功耗系统提供了有利的条件。nRF905无线收发芯片具有功耗低、控制简单、可自动处理字头和CRC校验的优点,MSP430通过SPI接口及相关指令访问nRF905的内部寄存器。SCA3000-D1是VTI公司的全数字化低功耗三轴加速度传感器,量程 $\pm 2g$,电源电

压 3.3 V,64 组缓冲存储器记录数据,在系统一级上面,有先进的性能和有效节能方式,频响可选,SPI 数字串口通信,抗冲击力强,可以运用于许多恶劣的条件下,但是其没有低功耗模式,通过对其电源模块的关断管理进行节能处理。根据传感器测得的倾斜角的连续变化,对系统进行合适的操作,当传感器数据变化到临界点时,使 nRF905, MSP430 进入不同的功耗模式,通过 MSP430 控制 SCA3000 的数据采集,从而有效地降低功耗。整个系统具有电路简单、功耗低、操作灵活、稳定性高、抗干扰能力强等特点。

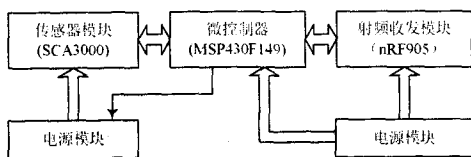


图1 系统组成原理图

2 DPM 基本原理^[1-2]

无线传感器网络节点内部模块存在着多种工作状态,假定每个节点都有相同的模块元件,如 CPU、存储器、传感器、无线收发器,DPM 通过转换工作状态,使系统各个部分运行在节能模式下。把节点的功率状态分为 $S_k (k = 0, 1, 2, 3, 4)$ 五个部分。其中: S_0 表示活动状态,此时节点消耗的功率最大; S_1 表示睡眠状态,此状态下大部分元件处于关闭状态,此时的功耗最小。假设节点 N_k 在某时刻有事件发生, N_k 在 t_1 时刻完成事件的处理,下一事件发生在 $t_2 = t_1 + t_i$ 时刻,在 t_1 时刻,节点决定从状态 S_0 转换到状态 S_k ,如图 2 所示。

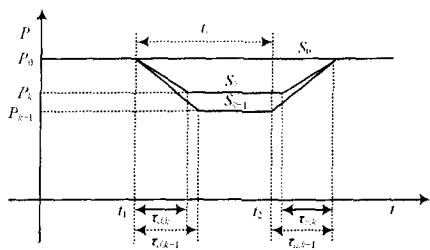


图2 状态转换示意图

状态 S_k 的功率为 P_k ,状态转换时间和恢复时间分别为 $\tau_{d,k}$ 和 $\tau_{u,k}$,定义 $i > j, \tau_{d,i} > \tau_{d,j}$ 和 $\tau_{u,i} > \tau_{u,j}$,则节点转入状态 S_k 节省的能量为 $E_{save,k}$,可由等式确定:

$$E_{save,k} = P_0 t_i - \left(\frac{P_0 + P_k}{2} \right) (\tau_{d,k} + \tau_{u,k}) - P_k (t_i - \tau_{d,k})$$

$$= (P_0 - P_k) t_i - \left(\frac{P_0 - P_k}{2} \right) \tau_{d,k} - \left(\frac{P_0 + P_k}{2} \right) \tau_{u,k}$$

(1)

只有当 $E_{save,k} > 0$ 时,式(1)才有意义。式中: P_0 为传感器处于激活状态时的功率; P_k 为睡眠状态为 S_k 时的传

感器节点功率; $\tau_{d,k} (\tau_{u,k})$ 为传感器从激活状态 S_0 (睡眠 S_k) 到睡眠状态 S_k (激活状态 S_0) 的转换时间。

理想状态下,传感器节点在完成的任务后迅速进入睡眠状态并在下一事件到达时迅速进入活动状态,能最大程度地节省能耗,根据式(1)可得门限时间:

$$T_{th,k} = \frac{1}{2} \left[\tau_{d,k} + \left(\frac{P_0 + P_k}{P_0 - P_k} \right) \tau_{u,k} \right] \quad (2)$$

但事实上,节点的状态转换也存在较大的能量消耗和延迟。因此,在进入睡眠状态时,节点应首先在寄存器上保存之前的数据和参数,同时,激活节点仍然需要大量的能耗和额外的时间,低功耗模式下消耗的能量越少,转换到活动模式时带来的延迟就越大,所以,应考虑到状态转换额外的能耗 P_{add} 。当且仅当 $E_{save,k} > P_{add}$ 时,系统才有意义,因此,可以得出门限时间:

$$T_{th,k} = \frac{1}{2} \left[\tau_{d,k} + \left(\frac{P_0 + P_k}{P_0 - P_k} \right) \tau_{u,k} \right] + \frac{P_{add}}{P_0 - P_k} \quad (3)$$

$T_{th,k}$ 代表传感器节点的门限时间。在节点的非完全关闭状态,事件到达,系统可以自动转入激活的工作状态,对于完全关闭的状态 S_i ,由于节点的大部分元件都处于关闭状态,节点无法检测到事件和收到信息,所以一些事件将会丢失,根据剩余能量,得出 S_i 的门限时间为:

$$T_{th,i} = u e^{V_{std} V_{pre}} \quad (4)$$

式中: V_{std} 代表标准工作电压, V_{pre} 代表当前电压。

3 DPM 算法

文献[1]中提出了基于概率判别无线传感器网络动态功率管理。此方法对于是否进入完全关闭的状态 S_i ,给出一个概率值,利用概率判别来进行有效的功率状态转换,如果概率值偏大,则进入完全休眠状态的机率增大,能量消耗减少,但事件丢失的可能性增加;否则,使用能量增多,事件丢失的可能性减小。文献[3]提出了一种利用小波和卡尔曼滤波和自回归分析联合预测下一事件发生的时间来决定进入何种功率状态的方法,该方法根据历史事件的到达时间来预测下一事件发生的时间。在森林火警监视、洪水监测等特殊事件发生概率很小,历史数据无法获得的应用领域,文献[4]提出了一种利用小波和自回归的动态功率管理方法。该方法利用收发器(Sink)节点上的历史数据流预测未来的值,在后续周期内,若传感器节点的观测值不超过给定阈值则不向 Sink 节点发送数据,Sink 节点将预测值作为观测结果,通过减少传感器节点工作时间,降低网络数据传输量来减少传感器网络的总体能量消耗。由于无线通信占整个无线传感器网络能耗的主要部分,所以在不影响系统性能的前提下,有效地对无线收发系统

进行管理可以高效地降低系统能耗。混合自动控制^[5] (Hybrid Automata)是根据传感器检测信息的变化情况来控制传感器节点收发频率,通过增加休眠时间、降低收发次数对无线传感器节点进行动态功率管理,从而降低系统功耗。

4 混合自动控制

4.1 混合自动控制原理

在混合自动控制条件下,系统分为几个离散的状态,每个状态都有一定的保持条件、相应的控制变量、初始值和向其他状态转换的临界值。当环境变量改变或保持不变时,通过对形势加以分析(反馈)来执行在不同状态模式之间的转换。图3为混合自动控制示意图。

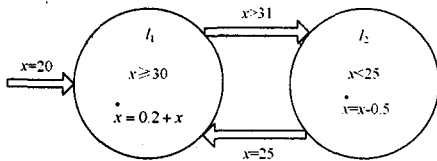


图3 混合自动控制原理图

假如系统存在两种状态 l_1 和 l_2 , 一个动态变量 x , 系统开始的状态为 l_1 , x 的初始值为 20, 在状态 l_1 下, 变量 x 随着等式 $\dot{x} = 0.2 + x$ 不断增大, 当 x 的值等于 30 时, 就达到了临界条件, $\dot{x} > 31$ 时, 迅速地进入状态 l_2 。在状态 l_2 , x 随等式 $\dot{x} = -0.5$ 递减, 临界条件是 $x = 25$, 当 $x < 25$ 发生状态转换进入状态 l_1 。在实际运用中, 此示意图可以理解为倾斜角度控制在 $25^\circ \sim 31^\circ$ 之间。

4.2 混合自动控制算法在无线传感器节点上的实现

由于对运动中物体的倾角测量在交通、航天、军事等领域有着重要的意义, 这里采用加速度传感器对倾斜角进行测量, 介绍混合自动控制算法的应用。基本思路: 无线传感器节点根据环境变量的连续性变化, 对传感器执行离散的处理应用, 当环境参数改变(增加或减小)时, 传感器的状态变量相应改变, 当改变到临界点时, 系统状态转换为另一功率状态。首先对系统作如下要求: 变量 x 表示所测量的倾斜角度值, 最高为 30° , 最低为 8° , 它代表环境参数的改变, 是各状态之间转换的主要因素; 变量 z 为计时器, 用于状态的计时。为了简化控制过程, 把系统分为三个状态, l_1 为睡眠状态, 此时传感器模块和无线收发器都处于不活动状态, 控制系统保持 l_1 状态为 60 s, 其不等式条件为 $z \leq 60$, 当 $z > 60$ 时, 转入状态 l_2 。状态 l_2 和 l_3 表示不同的采集和无线传输频率的活动状态, 状态 l_2 下的采集和无线传输频率低于 l_3 , 此时每间隔 10 s 发送一次采集的倾斜角度数据, 在发送完之后, 无线收发器和传感器进入关闭状态等待下一个周期的到来。运行过程中, 当倾斜角的变化在 $0.5^\circ \sim 5^\circ$ 之间 ($0.5 \leq$

$|x - x_{old}| \leq 5$) 且倾斜角度不超过 30° ($x \leq 30^\circ$) 时, 系统运行在状态 l_2 ; 当倾斜角度变化大于 5° ($|x - x_{old}| > 5$) 或 $x > 30^\circ$ 时, 系统进入状态 l_3 运行; 当倾斜角度变化小于 0.5° ($|x - x_{old}| < 0.5$) 且 $x \leq 30^\circ$ 时, 节点处于睡眠状态 l_1 。状态转换图如图4所示。

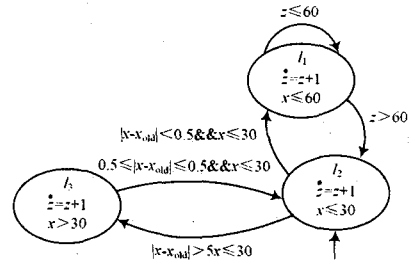


图4 状态转换图

在状态 l_3 下, 节点各部分都处于活动状态, 每间隔 1 s 发送一次数据, 用于倾斜角度变化过快或角度达到了高危值。节点开始于状态 l_2 , 一般情况下, 当倾斜角不发生变化或变化值低于 0.5° , 系统在状态 l_1 和 l_2 之间转换, 即数据在每间隔 60 s 发送一次, 间隔期内, 节点处于睡眠模式, 以节省能耗。如果变化值超过 0.5° , 系统进入状态 l_2 , 否则, 当变化值超过 5° , 就进入状态 l_3 。使用该算法, 在倾斜角变化正常的情况下, 设无线传感器节点直接和 sink 节点通信, 则节点大部分的时间处于状态 l_1 。

图5为混合自动控制算法在MSP430和nRF905无线加速度传感器系统中实现的简化流程图。

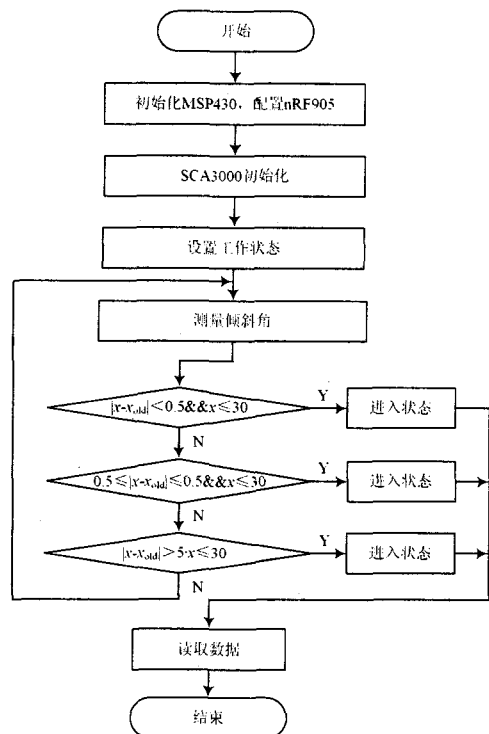


图5 程序流程图

5 结 语

由于传感器节点各部分存在着多种工作模式并且能量消耗差异较大,所以通过动态功率管理方法可以在系统级有效地降低节点的功耗,这里在介绍无线传感器动态功率管理基本原理的基础上,对几种典型的动态功率管理方法进行了分析研究,发现在环境参数(如加速度、温度等)变化稳定的情况下,通过混合自动控制算法对环境变量的变化值范围划分来设定系统的工作状态,控制无线收发模块的收发频率,能增加节点的休眠时间,减少收发次数,从而有效地降低系统功耗,最后通过 MSP430、nRF905 无线加速度传感器系统,介绍了混合自动控制算法的应用。

参 考 文 献

- [1] SINHA A, CHANDRAKASAN A. Dynamic power management in wireless sensor networks[J]. IEEE Design & Test of Computers, 2001, 18(4): 62-74.
- [2] SHEN Y, LI B X. Wavelet neural network approach for dynamic power management in wireless sensor networks[C]. [S. l.]: ICSS, 2008, 21: 376-381.
- [3] 田丰民, 陈向东, 张传武. 无线传感器网络动态功率管理方法[J]. 传感器技术, 2005, 24(11): 33-35.

作者简介: 尹光洪 男, 1980 年出生, 重庆人, 硕士研究生。研究方向为微电子技术。

(上接第 159 页)

参 考 文 献

- [1] 尹长川, 罗涛, 乐光新. 多载波宽带无线通信[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2004.
- [2] 栾英姿, 李建东, 杨家玮. MC-CDMA 系统采用多用户检测器的性能分析[J]. 华东理工大学学报, 2003(2): 185-190.
- [3] DUA A, DESAI U B, MALLIK R K. Minimum probability of error based methods for adaptive multiuser detection in multipath DS-CDMA channels[J]. IEEE Trans. on Wireless Commun., 2004, 3(3): 939-948.
- [4] WANG S, J I X. New ant colony optimization for optimum multiuser detection problem in DSCDMA systems[C]. Heidelberg: ISICA, 2007.
- [5] DORIGO M, BIRATTARI M, STUTZLE T. Ant colony

- [4] 李国徽, 江德平. 基于流预测的无线传感器网络动态功率管理[J]. 华中科技大学学报, 2007, 35(7): 27-30.
- [5] PASSOS R M, COELHO Jr C J N, LOUREIRO A A F, et al. Dynamic power management in wireless sensor networks: An application-driven Approach[C]. [S. l.]: Proceedings of the Second Annual Conference on Wireless on-Demand Network Systems and Services, 2005.
- [6] 沈建华, 杨艳琴, 翟晓曙. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [7] Nordic. Single chip 433/868/915 MHz transceiver nRF905 datasheet[M]. [S. l.]: Nordic, 2004.
- [8] Texas Instruments. MSP430x1xx family user's guide[M]. USA: Texas Instruments, 2006.
- [9] 田丰民. 基于小波分解的无线传感器网络动态功率管理[D]. 成都: 西南交通大学, 2005.
- [10] 王毅, 张德运, 陈海荣. 无线传感器网络汇聚节点动态功耗管理方法[J]. 西安交通大学学报, 2008, 42(2): 138-142.
- [11] 张大踪, 杨涛, 魏冬梅. 无线传感器网络低功耗设计综述[J]. 传感器与微系统, 2006, 25(5): 10-14.
- [12] 袁勇. 无线传感器网络节能传输技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005.
- [13] VTI Technologies. SCA3000-D01 3-AXIS low power accelerometer with digital SPI interface[M]. [S. l.]: VTI Technologies, 2005.

optimization[J]. IEEE Computational Intelligence Magazine, 2006, 11: 28-38.

- [6] LAIN J K, LAI J J. Ant colony optimisation-based multi-user detection for direct-sequence CDMA systems with diversity reception Communications [J]. IET Commun., 2007, 1(4): 556-561.
- [7] HIJAZI S L, NATARAJAN B, DAS S. An ant colony algorithm for multi-user detection in wireless communication systems [C]. Washington: Proc. Conf. Genetic and Evolutionary Computation, 2005.
- [8] 李士勇. 蚁群算法及其应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- [9] 段海滨. 蚁群算法原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [10] 王彩芸, 蔡乐才. 基于蚁群算法与中心比对算法的多序列比对研究[J]. 现代电子技术, 2009, 32(12): 85-87.

作者简介: 杨宇冰 女, 1984 年出生, 河南民权人, 硕士研究生。主要研究方向为多载波码分多址中的关键技术。