文章编号:1001 - 893X(2006)05 - 0165 - 05

基于无线唤醒功能的超微功耗收发系统设计*

汪宋良[1,2],杨 鸣[1,2],邵 华[1,2]

(1. 宁波大学 信息科学与工程学院,浙江 宁波 315211;
2. 宁波医用光电仪器省级高新技术研究开发中心,浙江 宁波 315211)

摘 要:介绍了 POCSAG 编码协议、FLEX 编码协议和基于无线唤醒功能模式下的工作原理,并通过对这些工作模式下的功耗计算和比较,分析了各种方法的优缺点以及节电情况;结合无源射频标签工作原理,提出了一种适用于干电池供电系统的新型节省功耗设计方案。分析结果表明使用无源唤醒功能的无线通信设备电池使用寿命延长到年以上。

关键词:无线通信设备;供电系统;POCSAG;FLEX;无源唤醒;超微功耗;无源射频标签

中图分类号:TN802 **文献标识码**:A

Ultralow Power Consumption Transceiver System Design Based on Wireless Waked - up Function

WANG Song - liang[1,2], *YANG Ming*[1,2], *SHAO Hua*[1,2]

(1. College of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China;
2. High Tech Research and Development Center of Medical Photoelectric Instrument, Ningbo 315211, China)

Abstract: The operational principle of POCSAG code protocol, FLEX code protocol and device based on waked - up function are introduced. Through calculating and analyzing three working models, the advantages, disadvantages and power consumption of these methods are compared with each other. Finally, according to the principle of passive RF - tag, a new ultralow consumption design scheme is presented which is applicable to battery of system power supply.

Key words: radio communication equipment; power supply system; POCSAG; FLEX; passive waked - up; ultralow power consumption; passive RF - tag

1 引 言

在民用无线通信应用领域中,以干电池为供电系统的通信设备对功耗的要求特别严格。从方便、经济和实用角度来考虑,一般在这些通信设备中以两节干电池作为供电电源是最为理想的,这就对有限的供电电源提出了使用寿命的要求。不停地更换电池来维持设备的通信是不切实际的,一般两节 LR6 型碱性七号电池的使用寿命以年为单位是合理的。国际上就这些通信设备的功耗问题提出了很多设计方案,从元器件的实际功耗上来节省电能,比如现在元器件中使用了更低功耗的 COMS 工艺来制作集成电路;从通信协议上降低功耗问题,比如从 20 世纪 80 年代的 POCSAG 编码协议工作模式的通信设备(早期寻呼机为代表),到 90 年代中期的定时主动唤醒接收端来接收信号工作模式的通信设备(FLEX 编码协议通信设备为代表),以及目前国际上比较成熟的技术——由外界特定信号才能被动唤

* 收稿日期:2005 - 08 - 29;修回日期:2006 - 01 - 07

万方数据

醒的工作模式(ATMEL 公司 AT86RF211 芯片为代表)。从功耗角度来考虑,这些不同的设计方案根据不同的原理,使通信设备在工作中功率消耗越来越低。随着技术的发展,干电池使用寿命也更加长。本文将从降低无线收发设备待机时间的功耗角度考虑,为了提高电池的工作时间效率,提出了基于无源射频卡技术的唤醒方式设计新思路。

2 POCSAG 编码协议设备

POCSAG[1,2]是一种准同步系统。码字格式及码流调制较为简明,只要将地址和消息按协议编码规则编入地址和消息码字,以 BCH(31.21)[3,4]构成检验码字。POCSAG 编码协议设备的工作模式分为节电状态和数据解码状态。设备在固定时间间隙后启动接收端检测环路,检测是否有外界设备跟本机通信。如果检测到外界信号则进入接收工作的数据解码状态;反之,没有搜索到有用信号则返回到节电状态,等待下一次的检测工作状态开始,从而达到节省功耗目的。第一,设备已固定的节电时间开启射频接收端电路;第二,接收工作模式中,由于 POCSAG编码有前置码和若干码组合成,所以通信设备不停地接收信息,当搜索到前置码时,进入同步码,之后再确定接收对应 8 帧当中的其中一帧,所以休眠时间为 7 帧时间,如图 1 所示。

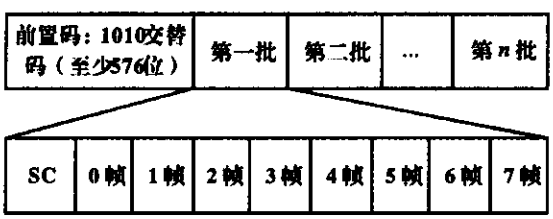

图 1 帧格式

3 定时主动唤醒工作模式

这种工作模式最为代表的是 FLEX 编码协议[5,6]。FLEX(Flexible High Speed Paging)是灵活的高速寻呼系统。跟 POCSAG 编码类似,FLEX 编码也分为休眠模式和接收模式。但与 POCSAG 编码协议不同的是,FLEX 编码采用分时传送的全同步方式,周期号为 0、帧号为 0 的寻呼帧发射时刻与北京时间每小时开始时间保持同步[7]。第一,为了延长设备的电池寿命,通常采取只让设备接收部分工作,而其他部分电路处于关闭状态。FLEX 编码协议设备平时连接收部分都可以不工作,只在属于自己的时间段一刹那开启接收机,这样大大降低了电池消耗;第二,最大限度地减少"搜索"工作状态的时间,将所有的地址码都集中在每帧的首部,大大缩短了帧的搜索时间;采用全同步帧时序,免去了冗长的前置码,且可预知指定帧的出现,故在非指定帧时可暂时"休眠"。一般来说电池寿命比 POCSAG 编码协议设备长 5 倍以上。

4 被动唤醒工作模式

4.1 工作原理

该工作方式与 POCSAG、FLEX 编码协议设备中的节电方式的最大不同之处在于设备一直处于等待唤醒信号工作模式下。当有外界信号达到可以使设备工作的唤醒条件时,设备才开始工作,否则一直处于休眠状态;而 POCSAG、FLEX 编码协议设备则是在规定时间内自动唤醒进入工作状态,无论其是否满足条件。

该工作原理有 4 种模式:Power Down 模式、Sleep 模式、接收和发送模式,单片机通过修改专用寄存器随时控制芯片在这些模式之间切换。工作原理如下:设备首先处于低功耗的 Sleep 模式,等待预定义的周期时间后,自动切换到接收模式(尖脉冲信号检测),在较短的时间间隔内,侦听预定位的信道,搜索唤醒消息。如果在规定时间内没有收到有效消息,芯片返回休眠模式,重复上述操作过程;反之,进入 Power Down 模式,并通过唤醒引脚通知单片机使设备进入接收工作状态。唤醒功能是芯片的独立功能,单片机在此期间也可以处于休眠模式,进一步降低整机的功耗。图 2 为唤醒过程示意图。

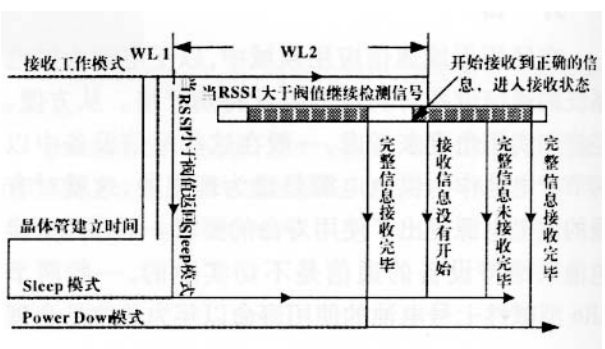

图 2 唤醒过程示意图

万方数据

4.2 功耗计算及比较

电池的供电能力用容量 $Q = I \times t$ 来衡量，单位 mA. h。以七号碱性电池为供电能源，AT86RF211 芯片为耗能设备。两节 AA 碱性电池电池容量[9]（在 43 Ω、4 h/day、连续放电至 0.9 V 条件下）为

$$Q \cong 2\ 200\ \text{mA} \cdot \text{h}$$
$$= 2\ 200 \times 3\ 600 \times 1\ 000\ \text{mA} \cdot \text{h}$$
$$= 7.9 \times 10^9\ \text{mA} \cdot \text{ms}$$

AT86RF211 收发器芯片[10] 总的消耗电池容量为

$$Q_C = \sum I \times \Delta t$$
$$\leqslant 8\ \text{ms} \times 0.8\ \text{mA} + WL1 \times 29\ \text{mA} + \text{WPER} \times 3\ \text{uA}$$
$$= 8 \times 0.8 \times + 3 \times 29 \times + 4170 \times 0.003$$
$$= 105.9\ \text{mAms}$$

当设备不与外界发生数据通信，而只处于睡眠和检测有无外界信号之间的状态切换时，两节碱性电池使用寿命为

$$T = 7.9 \times 10^9 / 105.9 \times 4181 = 10 \pm 2\text{（年）}$$

5 实验结果比较及分析

（1）对于任何通信设备的节电性能 η，定义为一个同步周期里所有叫醒所占的时长与同步周期的比值。若要对 POCSAG 编码协议的设备 n 发送通信消息，发送设备总是在其所分配的帧内发送，故其接收设备节电性能 η_P 为（不考虑加电建立时间）

$$\eta_P = \frac{\Delta_{np} + K(\Delta_{ns} + \Delta_{nl})}{Ts} = \frac{\Delta_{np} + K(\Delta_{ns} + \Delta_{nl})}{\Delta_{np} + K\Delta_{nB}}$$

其中，Δ_{np} 为前置码时长；K 为一个前置码后面所带的批数，由编码器容量决定；Δ_{ns} 为同步码的时长；Δ_{nl} 为每批中接收信息所占的时长；Ts 为同步周期；Δ_{nB} 为每批所占的时长。

当 $\Delta_{np} = 576$，K 分别为 10、20、30 时，相应的 η_P 分别为 25.5%、21.8% 和 20.5%。可见，在POCSAG 编码协议中，设备要在前置码、同步码和至少 1 帧中要加电，加电时间占的比例较大，节电性能不尽人意。

（2）根据 FLEX 的编码格式及工作情况得 FLEX 的节电性能 η_F 为（不考虑加电建立时间）

$$\eta_F = \frac{(t_{SB} + t_{BAV}) \times 128/2^R}{Ts}$$

其中，T_{SB} 为同步区时长，长为 115 ms；Ts 为同步周期，长为 4 min；R 为重复值，根据用户设定（一般为 0 ~ 7）；t_{BAV} 为 BI、AF、VF 总时长，其计算公式为 $t_{BAV} = \frac{\text{BI} + \text{AF} + \text{VF}}{\text{R}_\text{P}}$，BI 为区块信息，AF 为地址域，VF 为向量域。

由于 FLEX 是按数据区多重绞织传输的，设备必须整区接收，每区时长 160 ms，与速率 R_P 无关，所以 $t_{BAV} = 160$ ms（一般情况 $1 \leqslant m \leqslant 5$），故：

$$\eta_F = \frac{(115 + 160m) \times 128/2^R}{240\ 000}$$

设 $R = 4$，当 m 分别为 1、3、5 时，相应的 η_F 分别为 0.92%、1.98% 和 3.05%。与 POCSAG 相比，FLEX 编码协议设备更省电，且通信数据愈长，省电愈明显。

（3）被动式唤醒工作模式（AT86RF211 芯片为代表）节电性能 η_H 为（考虑加电建立时间）

$$\eta_H = \frac{(t_{up} + \text{WL1} + \text{WL2})}{Ts}$$

其中：t_{up} 为晶体管建立时间；WL1 为接收端检测信号时间；WL2 为接收端接收信号工作时间；Ts 为工作周期，包括 WL1、WL2、WPER。

由于 AT86RF211 芯片在 WL1、WL2、WPER 时间都是可以根据用户认为设置的，并且不是每个周期 Ts 内都需要 WL2 时间，但使问题一般化和可比性，以下考虑每次都有接收信号发送，取 $t_{up} = 8$ ms，故：

$$\eta_H = \frac{(8 + \text{WL1} + k \times \text{WL2})}{Ts}$$

其中 WL1 从 1 ms 到 1.024 s 范围内变化，WL2 为 $k \times$ WL1（k 取 0 ~ 31）范围内变化，WPER 从 10 ms 到 328 s 范围内变化。设 WL1 分别取 2、10、50 ms 时，且 WPER 分别为 4 170、5 130、16 010 ms 时，$k = 2$，相应的 η_H 分别为 0.33%、0.73%、0.97%。与 POCSAG、FLEX 编码协议的设备相比，这种工作模式更省电，且节电性能可以根据应用要求可以进一步提高。

6 基于射频识别卡技术的唤醒方式设计新思路

降低功率消耗是目前国际上需要进一步解决的热点问题，特别是对于有限供电系统设备来说，尽量延长干电池的使用寿命是必须解决的问题。目前国

万方数据

际上也提出了很多解决方案,同时也推出了很多应用芯片。众所周知,在一个周期内,设备的功率消耗时间主要可以分为等待有效信号时间和有效信号通信时间两部分。而在实际应用中,有效信号通信时间相对于等待有效信号时间来说,等待时间内的功率消耗占据很大部分。假如能把设备在等待时间内的功率消耗进一步降低,那么电池使用寿命也就更长。这一点在民用的特别以碱性电池为供电系统设备中尤其重要。

基于无源射频标签的工作原理[11,12,13],对被动唤醒功能的工作原理进行了改进,提出了无源唤醒方式来唤醒设备工作。在无源射频标签中,标签本身没有供电系统,在阅读器的阅读范围之外时,标签处于无源状态,在阅读器的阅读范围之内时标签从阅读器发出的射频电磁场能量中提取其工作所需的电能,即依靠电感或电磁耦合来对标签充电,当达到工作电压后,标签与读写器进行通信。工作原理是:标签进入磁场后,如果接收到阅读器发出的特殊射频信号,就能凭借感应电流所获得的能量发送出存储在芯片中的产品信息(即 Passive Tag,无源标签或被动标签),阅读器读取信息并解码后,送至中央信息系统进行有关数据处理。

6.1 无源唤醒功能设计方案

在被动唤醒功能工作模式下,芯片其实还不时真正意义上的被动唤醒,因为芯片在每隔一定时间会触发一个短暂的尖脉冲用于检测有效信号(见图 2 WL1 阶段)。在长期使用的设备中这个尖脉冲消耗功率是不可以忽略的。

利用无源射频标签的唤醒方式来取代被动唤醒功能的尖脉冲的唤醒方式,这样就省去了每次用来检测有效信号的尖脉冲的功率消耗。在接收前端由振荡电路、电荷泵、电压钳位电路、简易比较电路、电源管理电路和选择工作状态电路[14,15,16]取代原来的尖脉冲发生电路,其它电路功能不变。其中振荡电路从无线场中获得工作电压,并且通过电荷泵积累获得的能量以提供前端接收电路工作电压;电压钳位电路控制充电电压伏值;当电荷泵中充电电压达到工作电压后,通过简易比较电路判别设备通信工作状态,最后由选择工作状态电路选择 Sleep 模式(唤醒信号不匹配时)或者工作模式(唤醒信号匹配时,将通知后台启动由碱性电池供电的通信系统);同时由电源管理电路实现场能到电池能源的切换,如图 3 所示。

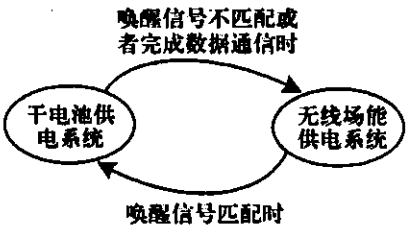

图 3 电源切换条件

这样的话,尖脉冲检测信号工作阶段的供电系统是由无线电磁场能量提供的。该设备工作在 Power Down、Sleep、接收和发送 4 种模式。Power Down 模式下,芯片不消耗功率且停止工作;在 Sleep 模式下,芯片功耗很低且可以被唤醒进入接收或发送状态,该模式下,芯片首先接收来自外界的无线电磁场能量对自己充电,当充电电压达到工作电压后启动接收前端设备,开始对外界信号进行检测,如果符合唤醒条件则由 Sleep 工作模式进入接收或发送工作状态,如果不符合唤醒条件则回到 Sleep 模式,进入发送或接收工作状态后,系统供电电源切换到干电池供电以达到更远的发射距离。这种工作原理下,芯片的工作功率消耗仅仅为 Sleep 模式、接收和发送模式,并且节省了尖脉冲唤醒检测信号功耗。图 4 为替代尖脉冲发生电路的无源接收前端工作原理图。

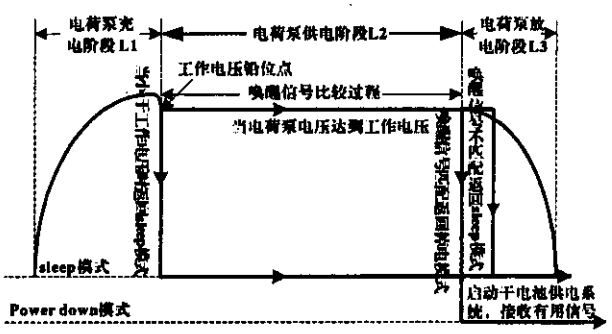

图 4 替代尖脉冲发生电路的无源接收前端工作原理图

6.2 功耗计算

同样以被动唤醒功能工作模式为计算条件,在一个唤醒周期内功耗由睡眠模式、振荡器建立时间决定,接收和发送功耗可以不用考虑。在每个 1 610 ms 周期中如下:①8 ms 振荡器建立时间,功耗为;② PLL = 0.5 ms,功耗为 29 mA;③4 170 ms 睡眠时间,功耗为 3 μA。所以总的消耗电池容量为 $Q''_C = 8 \times$

万方数据

$0.8+0.5\times29+4\ 170\times0.003=33.4$ mA·ms。两节碱性电池使用寿命(与前文比较条件相同) $T''=7.9\times10^9/33.4\times4181\cong25\pm5$ 年,可以得出干电池基本不耗电,使用寿命大大超过了被动式唤醒工作模式。当然这只是理论上的分析,并且没有考虑设备处于不定期的数据收发工作状态,在实际应用中使用寿命一般在几年之内。

7 结 语

通过计算可知,基于无源射频卡技术的唤醒方式设计方案真正意义上实现了降低芯片功耗的目的,并且通过该设计方案实现了供电能源只被消耗在接收和发送数据工作状态中,其它工作状态不消耗电池能源。随着无线通信在实际应用越来越广泛,对无线通信的各方面指标要求也越来越高,在解决功耗问题上,本文的收发系统设计方案应该具有强大的生命力和广阔的发展前景。

参考文献:

[1] Pocsag Paging Format, Code and Code Capacity[EB/OL]. http://www.sxlist.com/tec-href/pager/pocsag.html, 1997.

[2] 朱忠义. 无线寻呼机的 POCSAG 编码格式[J]. 现代通信, 1994, 8(4):104.

[3] Hank Wallace. Error Detection and Correction Using the BCH Code[EB/OL]. http://www.aqdi.com/bch.pdf, 2001.

[4] BCH Codes[EB/OL]. http://www-math..cud enver.edu/~rrosterm/cryp_tproj/node8.html, 2002.

[5] Scott Lindsey McCulley. Design and Implementation of a Practical FLEX Paging Decoder. Grayson Wireless[EB/OL]. http://www.google.com/search?hl=zh-CN&q=Design+and+Implementation+of+a+Practical+FLEX+Paging+Decoder.+Grayson+Wireless&lr=, 1997.

[6] Motorola Corp. Flexible High Speed Paging Protocol Benchmarking [EB/OL]. http://storefront.metrocall.com/assets/business_slt-ns/downloads/FLEX_BchMarking.pdf, 1994.

[7] Luo Kun, Huang Ji-wu, Yuan Lan-ying, Wang Lai-yun. Implement of Flex and Pocsag Pager Testing System [J]. Wuhan University Journal of Natural Science, 1999, 4(3), 322-325.

[8] ATMEL Corp. AT86RF211 FSK Transceiver For ISM Radio Applications [EB/OL]. http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_d-ocuments/DOC1942.PDF, 2002.

[9] 双鹿电池公司. 束装碱性电池[EB/OL]. http://www.sonluk.com.cn/pdf/pdf2.pdf.

[10] ATMEL Corp. Power Management Using The Embedded Stand-alone Wake-up Mode Protocol. Rev. 2[EB/OL]. http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/DOC2186.PDF, 2002.

[11] AIM, Inc. Radio Frequency Identification RFID A Basic Primer[EB/OL]. http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/resources/RFIDPrimer.pdf, 2001.

[12] Pete Sorrells. Pssivea RFID Basics[EB/OL]. http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00680b.pdf, 2002.

[13] http://www.ti.com/tiris/default.htm.

[14] Dipl.-Ing. Michael Knebelkamp, Dipl.-Ing. Herbert Meier, Freising. Latest Generation Technology for Immobilizer Systems [EB/OL]. http://rfid.bluestarinc.com/resources/Immobilizer_Systems.pdf, 2003.

[15] Microchip Corp. Code Hopping Encoder and Transponder [EB/OL]. http://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40158e.pdf, 2002.

[16] Texas Instruments Corp. 23 mm Glass Encapsulated Transponder [EB/OL]. http://www.ti.com/rfid/docs/manuals/refmanuals/23m-mtrpd.pdf, 1998.

作者简介:

汪宋良(1982-),男,浙江宁波人,硕士研究生,主要研究方向:无线低功耗通信,(电话)0574-87600351(电子信箱)wsl-530@163.com;

杨 鸣(1963-),男,硕士,研究员、硕士研究生导师,主要研究方向:光机电一体化专用设备、显微镜图像检测及处理,(电子信箱)yangming351@vip.sina.com;

邵 华(1979-),男,浙江建德人,硕士研究生,主要研究方向:基于 DSP 的高分辨率动态图象采集及处理,(电子信箱)shaohua33@21cn.com。

万方数据