

МЕТОД ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА МИКРОКОМПЮТЪРНИ СИСТЕМИ С НАМАЛЕНА КОНСУМАЦИЯ

Людмила Вертер Каракехайова
Технически университет - София
lvk@vmei.acad.bg

ABSTRACT

A method for low-power system design is presented. An imperative goal for many application is to minimize the power consumption. This paper deals with a system method for power minimization.

First we assume, that an embedded system runs in a cyclical manner. It is possible to minimize the power consumption by calculating the optimal oscillator frequency. Several other factors, which can influence the microcontroller's clock rate, are discussed. These factors can push up the oscillator frequency in order to meet the requirements. In many cases microcontrollers execute aperiodic tasks with different computation load. A microcontroller with adjustable clock rate would be a good candidate for these applications.

The suggested method minimizes the power consumption, which leads to longer battery lifetimes and allows higher levels of integration.

I. Въведение

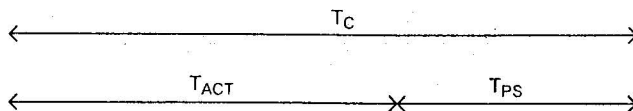
Методите за проектиране на системи с намалена консумация се развиват главно в три направления, обхващащи технологично, архитектурно и системно ниво [Alid 94, Nach 94].

Настоящата работа има предвид преди всичко проектирането на вградени системи за управление (control-dominated embedded systems), при които ниската консумация е от особено значение. Предложеният подход използва възможностите за минимизиране на консумацията на системно ниво.

II. Намиране на оптималната осцилаторна честота

Предполагаме, че дадена вградена система работи в цикличен режим. Използването на микроконтролери при проектирането на управляващи микропроцесорни системи дава възможност за намаляване на консумираната енергия на базата на включване на режими с намалена консумация (power saving modes) в цикъла на системата. Както е показано на фиг. 1, цикълът на такава система съдържа активен (T_{ACT}) и пасивен (T_{PS}) период. Спецификата на системата изисква микроконтролерът да изпълнява инструкции за

определен брой цикли на тактовата честота (NC), което отговаря на активния период (T_{ACT}). Щом задачата се изпълни, микроконтролерът може да премине в режим на намалена консумация и да остане така до края на цикъла.



Фигура 1

Консумираната енергия от микроконтролера е

$$(1) \quad E = P \cdot T_c = I \cdot V_{cc} \cdot T_c$$

Консумираният ток е свързан с честотата чрез равенството

$$(2) \quad I = k \cdot f_{osc} + n$$

Както се вижда от таблица 1, параметрите k и n са различни в активен режим и в режим на намалена консумация.

В [Кара 99a] е показано, че енергията има минимум за

$$(3) \quad f_{OSCOPT} = \sqrt{\frac{(n_{ACT} - n_{PS})NC}{k_{PS} \cdot T_c}}$$

където n_{ACT} е параметърът n в активен режим, n_{PS} и k_{PS} съответно параметрите n и k в режим Idle, NC е броят на циклите на тактовата честота за активния период на микроконтролера и T_c е периодът на цикличната система.

III. Фактори, които имат влияние върху избора на осцилаторната честота

- На първо място при динамична логика фирмата производител ограничава минималната работна честота.

- Използването на сериен канал диктува определени стойности на осцилаторната честота, съответстващи на стандартните скорости на обмен на данни (Baud rate - BR). Например за микроконтролерите 8051, 83C552 и 51LPC съществува следната връзка между скоростта на предаване на данни и осцилаторната честота.

$$(4) f_{osc} = d(256 - TH1)(32 - 16(SMOD))BR,$$

където TH1 е кодът в съответния регистър, SMOD е бит от регистър PCON, d е коефициент на делене на осцилаторната честота, който за микроконтролерите 8051 и 83C552 е равен на 12, а за микроконтролерите от фамилията 51LPC може да се променя по програмен път чрез стойността на бита CLKR от регистъра UCFG1 и може да бъде равен на 6 или на 12.

Таблица 1

Microcontroller	Mode	$I = k \cdot f_{osc} + n$
80CL51	Active	$I = 0.88 \cdot 10^{-9} f_{OSC} + 1.2 \cdot 10^{-3}$
Philips	Idle	$I = 0.26 \cdot 10^{-9} f_{OSC} + 0.5 \cdot 10^{-3}$
83C552	Active	$I = 2 \cdot 10^{-9} f_{OSC} + 3 \cdot 10^{-3}$
Philips	Idle	$I = 0.44 \cdot 10^{-9} f_{OSC} + 0.4 \cdot 10^{-3}$
51LPC	Active	$I = 0.40 \cdot 10^{-9} f_{OSC} + 4.0 \cdot 10^{-6}$
Philips	Idle	$I = 0.18 \cdot 10^{-9} f_{OSC} + 1.2 \cdot 10^{-6}$
51XAG1	Active	$I = 2.2 \cdot 10^{-9} f_{OSC} + 25 \cdot 10^{-3}$
Philips	Idle	$I = 0.83 \cdot 10^{-9} f_{OSC} + 0.5 \cdot 10^{-3}$

Например, ако за оптималната осцилаторна честота е получена стойност 2.3МНЗ, а изискваната скорост на обмен на данни е 4800bps, то най-близката стойност на възможната осцилаторна честота, отговаряща на посочената скорост на обмен е 2.7648МНЗ. В такъв случай в регистъра TH1 се зарежда числото 253.

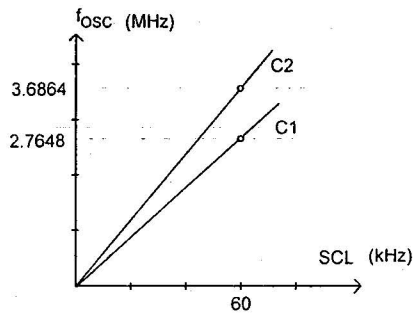
•Използването на I²C шина за последователен обмен на данни също има отношение към осцилаторната честота. Така например при микроконтролера 83C552 съществува следната зависимост между честотата на шината SCL и осцилаторната честота

$$(5) \quad f_{osc} = C \cdot SCL,$$

където C се определя от кода, който се зарежда в регистъра $S1CON$ (битовете $CR2, CR1, CR0$) и може да заема стойностите: 60, 120, 160, 192, 224, 256, 960. Също така има възможност честотата на шината да се задава чрез $TIMER1$, като тогава е в сила равенството

$$(6) \quad f_{osc} = 96(256 - TH1) SCL$$

Тъй като се предполага, че осцилаторната честота вече е определена с оглед на стандартната скорост на обмен по серийния канал, остава да се провери доколко тази честота задоволява изискванията за скоростта на обмен по I^2C шината. На фиг. 2 е показано определянето на константата C за разгледания пример, при изисквана честота на I^2C шината 60KHZ.



Фигура 2

За избраната осцилаторна честота 2.7648MHZ получаваме

$$C = 46.08.$$

Тъй като най-ниската възможна стойност на C е 60, или трябва да се примирим с по-малка скорост на обмен, която в случая ще бъде 46KHZ, вместо изискваните 60KHZ, или осцилаторната честота трябва да се повиши, като се приеме следващата възможна стойност, осигуряваща скорост на обмен по серийния канал 4800bps. В такъв случай осцилаторната честота ще приеме стойност 3.6864MHZ. Съгласно (2) консумираната енергия ще нарасне.

При микроконтролерите от фамилията 51LPC ситуацията е сложна, тъй като при тях I^2C интерфейсът е оптимизиран за високоскоростни операции, а също така осцилаторната честота може да бъде променяна програмно. Връзката между честотата на шината SCL и осцилаторната честота в този случай е

$$(7) \quad f_{osc} = 12 * MTC * SCL,$$

където MTC (Min Time Count) е минималното време на броење на Timer1 в машинни цикли, което се задава с битовете CT1 и CT0 на I²C регистъра Configuration Register (I2CFG). В таблица 2 са дадени съответните кодове.

Таблица 2

CT1, CT0	Min Time Count
1 0	7
0 1	6
0 0	5
1 1	4

За разглеждания пример може да се изчисли

$$MTC = \frac{f_{osc}}{12 * SCL} = 3.84 \approx 4$$

В такъв случай за SCL се получава стойността 57.6KHZ, близка до изискваната.

Разгледаното дотук се отнася до вградени системи, които работят в цикличен режим. За такава система е в сила неравенството

$$(8) \quad \frac{NC}{f_{osc}} < T_c$$

Понякога е възможно микроконтролерът да изпълнява и аperiодична задача с различен изчислителен товар, която изисква време, по-голямо от обичайния цикъл на системата, т.е. неравенство (8) не е изпълнено. В такъв случай могат да се предложат две решения на проблема.

- Възможно е честотата да бъде увеличена, докато се изпълни неравенство (8), като се имат предвид отново серийния канал и I²C шината. Това обаче би се отразило отрицателно върху консумираната енергия.

- По-добре би било в този случай да се използва микроконтролер, който позволява промяна на осцилаторната честота по програмен път. Такива са представителите на фамилията 51LPC (Philips). Те притежават програмируем делител, който се управлява от регистъра

DIVIDE-BY-M (DIVM). Ако този регистър е установен в 00, честотата не се модифицира. Ако в него е записана стойността N (от 1 до 255), честотата се разделя на $2^*(N+1)$, т.е. възможните делители са от 4 до 512. Това позволява за цикличния режим на системата да се установи една по-ниска осцилаторна честота, съгласно всички съображения, разгледани дотук. При изпълнение на една или няколко аperiodични задачи, които изискват повече машинни цикли, осцилаторната честота може да бъде променяна, без прекъсване на изпълнението на програмата, чрез презаписване на стойността в регистъра DIVM. Нещо повече, възможно е разделянето на задачите на групи с приблизително еднакъв цикъл и изчисление на оптимална честота за всяка група.

Предложеният метод за проектиране на вградени системи дава възможност за снижаване на консумираната енергия на базата на оптимизиране на осцилаторната честота.

ЛИТЕРАТУРА

[Alid 94] Mazhar Alidina, Jose Monteiro, Srinivas Devadas, Abhijit Ghosh and Marios Papaefthymiou, "Precomputation-based sequential logic optimization for low power", *Digest of Technical Papers*, pp. 70-73, IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design, November, 1994.

[Hach 94] Gary D. Hachtel, Mariano Hermida, Abelardo Pardo, Massimo Poncino and Fabio Somenzi, "Re-encoding sequential circuits to reduce power dissipation", *Digest of Technical Papers*, pp. 70-73, IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design, November, 1994.

[Kara 99a] Zdravko Karakehayov and Ludmila Karakehayova, "Embedded System Clock Optimization for Low Power", *Proceedings ELECTRONICS'99 International Conference*, Sozopol, 1999.

[Kara 99b] Zdravko Karakehayov, Knud Christensen and Ole Winther, *Embedded Systems Design with 8051 Microcontrollers*, Marcel Dekker, 1999.

[Phil 96] Philips Semiconductors, *16-Bit 80C51XA Microcontrollers, Data Handbook IC25*, 1996.

[Phil 97] Philips Semiconductors, *80C51-Based 8-Bit Microcontrollers, Data Handbook IC20*, 1997.