

基于 H.264 的视频监控系统关键代码实现与优化

谢丁峰, 夏新军

(湖南科技大学 计算机科学与工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 根据实际开发项目经验, 分析了 H.264 视频压缩编码算法的基本原理, 如整数 DCT 变换、多参考帧的运动估、帧内预测、帧间预测; 介绍了 TMS3206416 芯片的内核结构和外围设备, 并结合 TMS3206416 嵌入式系统的特性、程序级代码优化与汇编级优化的方法, 应用指令流水线、循环展开、指令并行、数据打包等技术, 用汇编语言优化了部分 DCT 模块。通过实验结果的对比, 对 H.264 中影响编码速度的瓶颈函数取得了较好的优化结果。这些方法和思路具有实际意义, 为其他开发视频系统提供了较强的参考价值。

关键词: H.264; 数学信号处理(DSP); 移植优化; 离散余弦变换

中图分类号: TP311.5

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)12-0057-04

Implementation and Optimization on Critical Code of H.264 - Based Video Surveillance System

XIE Ding-feng, XIA Xin-jun

(School of Computer Science and Engineering, Hunan University of Science and Tech., Xiangtan 411201, China)

Abstract: In this paper, analyze the principle of H.264 video compression coding algorithm according to the practical development experience, such as DCT transformation, motion estimation of multiple reference frame, intra-frame prediction and inter-frame prediction; introduce the kernel architecture and peripheral equipment of TMS3206416 chip, and combine the characteristics of TMS3206416 with the code optimization method of program level and assembly level, pipeline, loop unrolling, instruction parallelism and data packaging are used for optimizing part of DCT module. Finally, by comparing the experimental result, know that the bottle-neck function which affecting coding speed was optimized. These methods and thoughts are of great significance and provide good reference value for the development of other video system.

Key words: H.264; digital signal processor; transplant and optimization; discrete cosine transform

0 引言

多媒体技术快速发展, 视频业务需求在不断增加。如何在现有的视频压缩编码技术水平和硬件条件下实现实时多媒体通信终端设备和产品一直是信号处理领域和相关企业研究的重要研究方向。而基于 DSP TMS320C6416 的采用 H.264 视频压缩编码的视频监控系统, 广泛应用各个领域。文中分析了 H.264 视频压缩编码原理, 结合 TMS32064XX 处理器结构, 成功移植优化了 H.264, 并用汇编语言优化编译了 DCT 算法。

1 H.264 视频压缩编码原理

H.264 是新一代运动图像压缩标准, ITU-T 的 H.264 标准的制定是由 ISO/IEC 下属的运动图像专家组 MPEG(Moving Picture Experts Group)和 ITU 下属的视频编码专家组 VCEG(Video Coding Expert Group)共同成立的联合视频小组 JVT(Joint Video Team)负责完成的^[1-5]。视频块的内容也变化不一, 细节多的、细节少的、平坦无变化的等等, 编码分为帧间和帧内两种模式。当采用帧内编码时, 首先选择相应的帧内预测模式进行帧内预测; 然后对实际值和预测值之间的差值进行变换、量化和熵编码, 同时编码后的码流经过反量化后重构预测残差图像, 再与预测相加得出重构帧, 得出的结果经过去块滤波器平滑后送入帧存储器。采用帧间编码时, 输入的图像块首先在参考帧进行运动估计, 得到运动矢量。运动估计后的残差图像经过整数变换、量化和熵编码后与运动矢量一起送入信道传输。同时另一路码流以相同的方式重

收稿日期: 2010-05-10; 修回日期: 2010-08-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50875082); 湖南科技大学 2009 年研究生创新基金资助项目(S090116)

作者简介: 谢丁峰(1978-), 男, 江西吉水人, 硕士研究生, 研究方向为嵌入式系统、视频图像; 夏新军, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为 VLSI 设计自动化、嵌入式系统。

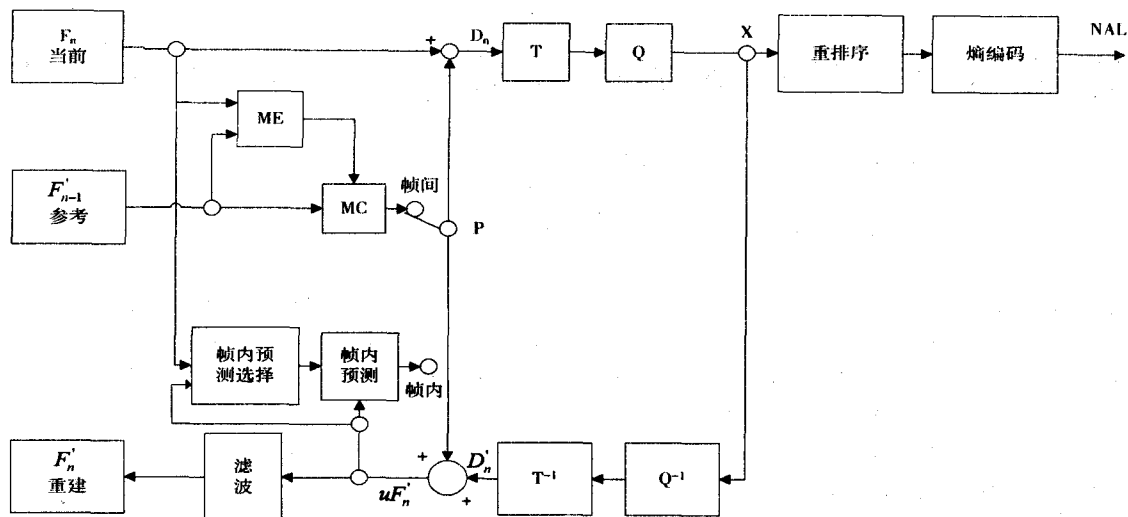


图1 H.264 编码结构图

构后经过去块滤波后送入帧存储器作为下一帧编码的参考图像。H.264 将整个编码结构分成视频编码层 VCL(Video Coding Layer)和网络提取层 NAL(Net Abstract Layer),NAL 对 VCL 的编码内容进行适合网络的封装,具有良好的网络友好性。图1是 H.264 编码结构图。

存储运算。L 和 D 功能单元一般执行逻辑运算和算术运算^[2]。

TMS320C6416 通过 EDMA (Enhanced Direct Memory Access) 让二级 Cache/内存控制与外设之间的传输。TMS320C6416 还有其他的一些外设备。图2是 TMS320C6416 的结构图^[5]。

2 DSP TMS320C6416 数字信号处理器

TMS320C6416^[6-10] 是 TI (Texas Instrument) 公司推出的定点 DSP,其系统性能和特点适应多媒体数字应用。TMS320C6416 指令采用的多指令流出技术中的超长指令字 VLIW (Very Long Instruction Word), 超长指令字在每个时钟周期都是固定的;这些指令构成一条长指令或者一个指令包,在指令包之间的并行是通过指令显式地表示出来的;指令调度是由编译器静态完成的。TMS320C6416 采用的哈佛结构,数据和程序分开存储,分为数据储存区、程序存储区。TMS320C6416 有二级存储器,一级程序 Cache(L1P),一级数据 Cache(L1D),二级 Cache(L2)。一级程序 Cache(L1P)与一级数据 Cache(L1D)存储都分别为 16kB,二级 Cache(L2)存储空间为 1024kB。TMS320C6416 有 64 个通用寄存器,分为 AB 两个通用寄存器组(A组 A0-A31,B组 B0-B31)。有八个功能单元,分为 2 组,每组 4 个(L1,S1,M1,D1 和 L2,S2,M2,D2)。在指令数据不相关的时候,可以并行操作,可以同时并行执行八条指令。其中,M1,M2 功能单元主要执行乘法运算,D1,D2 功能单元一般执行装载和

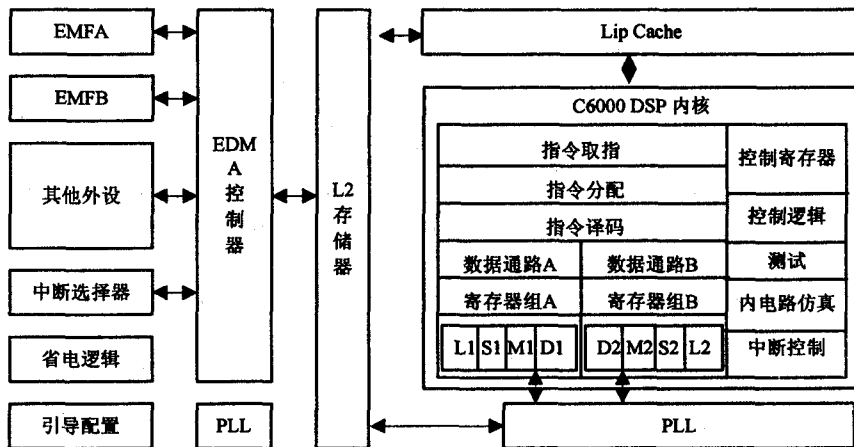


图2 TMS320C6416 的结构图

3 DCT 变换汇编优化

在 H.264 中 DCT 重复性计算比较高,应该充分利用丰富的媒体处理指令,用线性汇编写,最大限度的利用 DSP 的并行性,加快编码速度。

H.264 中的 DCT 变换核函数由 FT 中复指数函数 $e^{-j2\pi ft}$ 变成余弦函数 $\cos 2\pi ft$ 。二维 $N \times N$ 图像块的 DCT 先对图像块的每行进行一维 DCT,然后对经行变换的块每行再应用一维的 DCT^[11,12]。表示为:

$$Y_{nm} = C_u C_v \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} X_{ij} \cos \frac{(2j+1)u\pi}{2N} \cos \frac{(2i+1)v\pi}{2N}$$

$$\text{其中, } C(u), C(v) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{2}} & u, v = 0 \\ 1 & u, v = 1, 2, 3, \dots, N-1 \end{cases}$$

X_{ij} 是图像 X 中第 i 行第 j 列图像或残差值, y_{mn} 是变换结果矩阵相应频率点上的 DCT 系数。

二维 DCT 计算复杂度高,一个 8x8 大小的图像直接使用公式(1)进行 DCT 变换,共需要 4096 次乘法运算和 3584 次加法运算,极大地占用嵌入式系统 CPU 的资源。C. Loeffler, A. Ligtenberg 和 G. Moschytz 提出了一种有效的快速算法,成为 LIM 算法。图 3 是 LIM 算法的蝶形结构图(其中 C 表示 \cos , S 表示 \sin)。

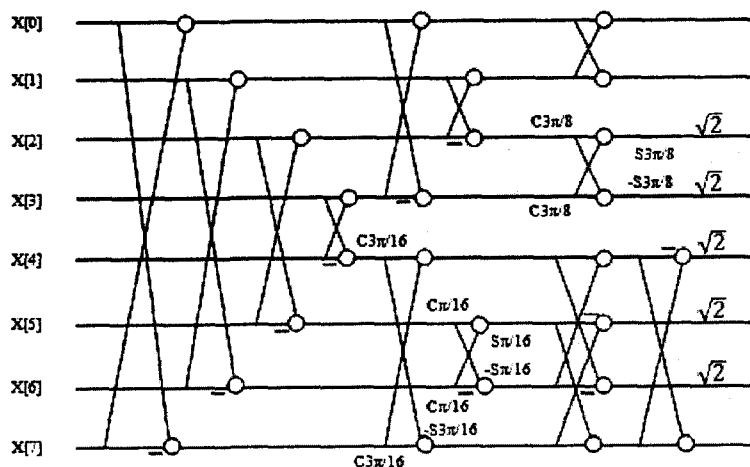


图3 LLM算法流程图

DCT4*4蝶形算法,将二维整数变换转换为两次一维的变换,首先对行进行操作,然后对列操作。以下是对行操作的部分汇编代码:

```
. global dct_Y
```

_dct_Y:

```

; A4 -- > input,
; B4 -- > ref,
; A6 -- > output,
; B6 -- > shift,

SUB2 .D1X A26,B26, A24
|| SUB2 .D2X B27,A27, B24
|| ADD2 .L1 A22,A25, A22 ;S03=pIn[0]+pIn[12]
|| SUB2 .S1 A22,A25, A25 ;D03=pIn[0]-pIn[12]
|| : :
|| ADD2 .D1 A23,A24, A23 ;S12=pIn[4]+pIn[8]
|| SUB2 .L1 A23,A24, A24 ;D12=pIn[4]-pIn[8]
|| : :
|| ADD2 .D1 A22,A23, A22 ;pOut[0]=S03+S12
|| SUB2 .L1 A22,A23, A23 ;pOut[8]=S03-S12
|| ADD2 .D2 B22,B23, B22
|| SUB2 .L2 B22,B23, B23
|| AND .D1 A26,A7, A26 ;(D03<<1)
|| AND .L1 A27,A7, A27
|| AND .D2 B26,B7, B26
|| AND .L2 B27,B7, B27
|| ADD2 .D1 A26,A24, A24 ;pOut[4]=(D03<<1)+D12
|| SUB2 .L1 A25,A27, A25 ;pOut[12]=S03-(D12<<1)

; end column
:
:

```

为了提高 DCT 计算速度,我们采用了并行指令,

并且考虑指令之间数据相关。使用了 LDW 指令、MPYU4 指令、ADD2 指令、SUB2、Shr 指令。

1) 使用 LDW 一次从内存取出 4 个原始块像素, 放在一个寄存器中;

2) 使用 Mpyu4 把寄存器 32 的值扩展成两个 32 寄存器；

3) ADD2 和 SUB2 对两个 32 位的数据的高低半字分别进行加法或减法运算；

4) SHR 指令将数据右移;

5) 再使用一次 ADD2 或 SUB2 指令对得到的 32 位数据进行一次高低半字的加法和减法运算;

6) 使用 STDW 将得到的两个 32 位数据存入数组中。

从汇编函数的相关图如图 4 所示, 编写代码对使用到的资源有一个总体的把握, 进而在编写代码时均匀的使用每组数据通路中的资源。汇编函数充分考虑了短字长数据使用宽长度的存储器访问、扩展算术运算指令、多单元并行处理等 TMS320C6416 特性。采用

指令乱序技术,如 LDW 指令需要 5 个指令周期,那么可以在其等待的 4 个指令周期中安排对后面几个数据的读取,这样就可以对几个数据同时进行处理,而不需要通过多次循环来分别读取和处理这些数据。

与以 C 语言为主的二维 DCT 编码相比,用汇编语言实现的二维 DCT 程序执行时可以大量采用并行处理,使得代码执行时间上得到了很大改善,优化了整个算法的效率。与 C 代码比较如表 1 所示。

表 1 H.264 视频压缩标准中部分

DCT 函数线性优化比较表

函数名	C代码时钟 周期	线性汇编 代码周期	优化提升 倍数
DCT16X16	1321980	120459	10.97
DCT8X8	306568	27652	11.09
DCT4X4	48522	3820	12.70

4 优化结果分析

硬件平台为 TMS320C6416T DSK 开发板,开发调试软件版本是 CCS3.1。下面给出在 CCS 中用 Profiler 工具进行剖析, DCT 算法线性汇编优化结果。线性汇编优化比较结果如表 1 和图 5。宏块分别采用 C 源程序和汇编程序并行指令的实验结果采用 C 源程序和汇编程序并行指令的实验结果,表 1, DCT_{4x4}宏块 C 源程序的耗时 48522, 而汇编程序并行指令 3820, 优化提

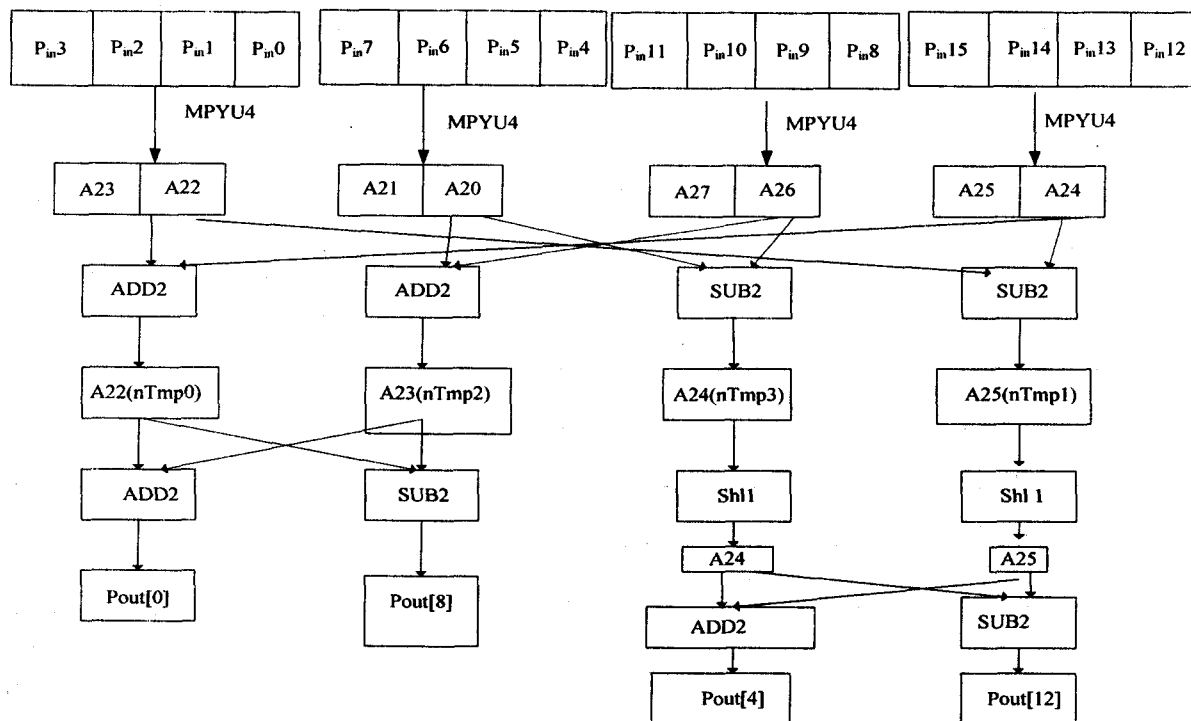


图 4 DCT 汇编垂直方向函数相关流程图

升倍数 12.70。C 语言的程序优化比较简单,但是优化的效果不是非常明显;汇编语言并行指令优化后程序代码较少,优化的效果比较明显,并行指令具有更高的优化性能,所以在关键代码使用汇编并行指令。

是把监控系统上层应用程序模块设计,设计较好的人机交互界面,更好满足用户的操纵需要。

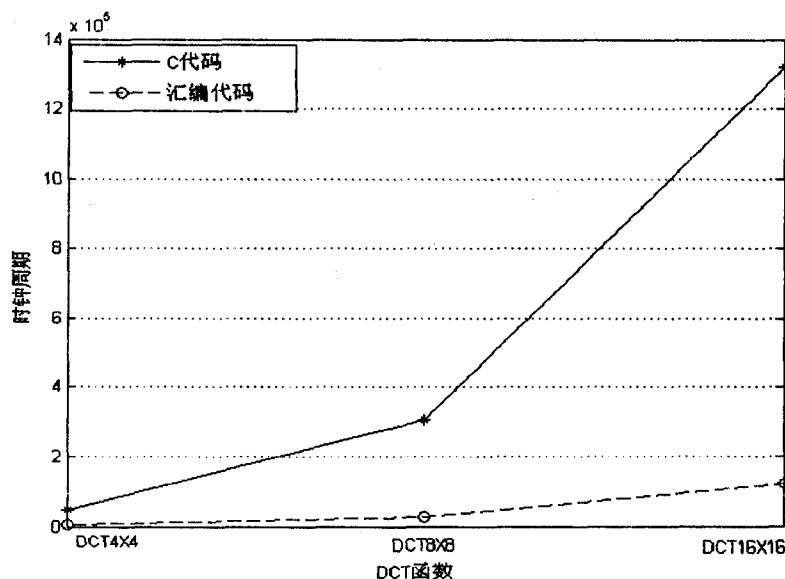


图 5 DCT 函数线性优先后比较图

5 结束语

系统基于 H.264 嵌入式视频监控系统,提供了较好的视频质量,实现了设计基本需求。系统关于 H.264 算法在 DSP 平台移植、优化的思路和方法,对开发嵌入式视频系统有一定的参考价值。下部分工作任务

参考文献:

- [1] JVT of ISO/IEC MPEG and the ITU-T JTC: ISO/IEC 14496-10:2005 Information technology Coding of audio-visual objects - Part 10: Advanced Video Coding [S]. 2005.
- [2] Yu A, Lee R, Flynn M. Early detection of all-zero coefficients in H.263 [C] // Pcs97. Berlin, Germany: [s. n.], 1997: 159-164.
- [3] Wang YingKun, Zhou yuanhua, Yang Hua. Early detection of all-zero DCT coefficients [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2004, 50(30): 923-928.
- [4] 毕厚杰. 新一代视频压缩编码标准——H.264/AVC[M]. 北京:人民邮电出版社, 2005.
- [5] 郭宝龙, 倪伟, 闫允一. 通信中的视频信号处理[M]. 北京:电子工业出版社, 2007.
- [6] Texas Instruments Incorporated. TMS320C6000 系列 DSP 编程工具与指南[M]. 田黎育, 何佩琨, 朱梦宇编译. 北京:清华大学出版社, 2006.
- [7] Texas Instruments. TMS320C64x DSP Library Programmer's (下转第 149 页)

比特能耗值,能量消耗的方式更为合理有效。

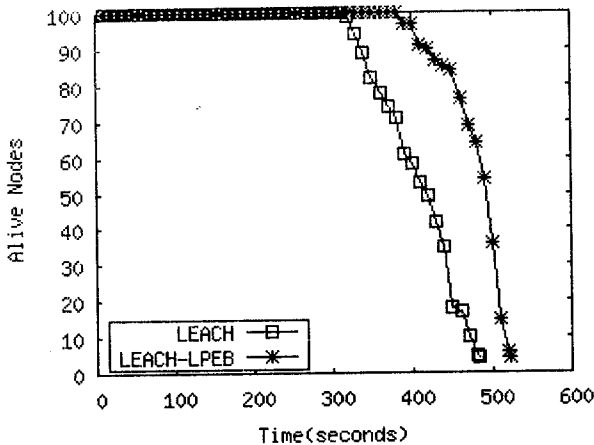


图 4 存活节点数与时间关系图

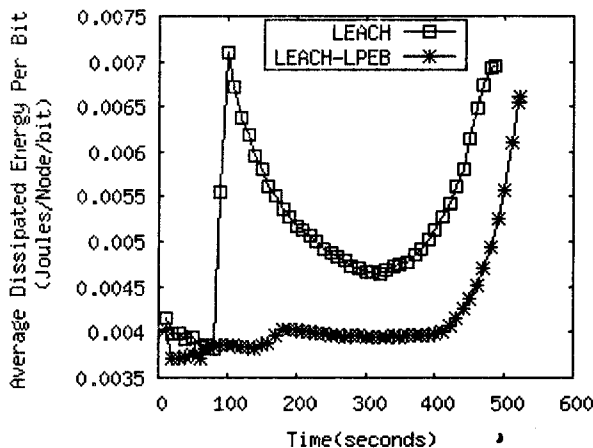


图 5 平均的单位比特能量消耗关系图

3 结束语

在基于 LEACH 算法的基础之上,采用线性预测能量消耗的办法动态调整簇首节点的切换时长,均衡了部分担当簇首的节点消耗速度,实现了网络负载均衡,延长了网络生命周期。仿真实验结果也说明,本算法与 LEACH 算法相比,提高了单位能量有效数据率,延长了网络生命周期。

参考文献:

- [1] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. A survey on sensor networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8):102-114.
- [2] 崔莉,鞠海玲,苗勇,等.无线传感器网络研究进展[J].计算机研究与发展,2005,42(1):163-174.
- [3] 唐勇,周明天,张欣.无线传感器网络路由协议研究进展[J].软件学报,2006,17(3):410-421.
- [4] 毕俊蕾,任新会,郭拯危.无线传感器网络路由协议分类研究[J].计算机技术与发展,2008,18(5):131-134.
- [5] Anastasi G, Conti M, Di Francesco M, et al. Energy conservation in wireless sensor networks: A survey[J]. Ad Hoc Networks, 2009(7):537-568.
- [6] Kulik J, Heinzelman W R, Balakrishnan Hari. Negotiation-based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks[J]. Wireless Networks, 2002, 8(2-3):169-185.
- [7] Intanagonwiwat C, Govindan R, Estrin D, et al. Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking [J]. IEEE/ACM Transaction on Networking, 2003, 11(1):2-16.
- [8] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]//In: Proc. of the 33rd Annual Hawaii Int'l Conf. on System Sciences. Maui: IEEE Computer Society, 2000: 3005-3014.
- [9] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks [J]. IEEE Transaction on Wireless Networking, 2002, 1(4): 660-670.
- [10] 杜胜永,柴乔林.基于最大连通度的生成簇优化算法[J].计算机应用,2006,26(6):186-189.
- [11] 肖伟茂,王力.一种基于 LEACH 的无线传感器网络路由算法[D].西安:西安电子科技大学,2006.
- [12] 张华忠,刘志杰,于鹏程.WSN 中负载均衡的 LEACH 通信协议研究[J].计算机工程与设计,2007,28(18):4403-4406.
- [13] 徐雷鸣,庞博,赵耀.NS 与网络模拟[M].北京:人民邮电出版社,2003.

(上接第 60 页)

- Reference, (Literature Number: SPRU565B) [M]. [s. l.]: [s. n.], 2004.
- [8] Texas Instruments. TMS320C6000 CPU and Instruction Set Reference Guide (Literature Number: SPRU189F) [M]. [s. l.]: [s. n.], 2004.
- [9] Texas Instruments. TMS320C6000 Assembly Language Tools User's Guide, (Literature Number: SPRU186N) [M]. [s. l.]: [s. n.], 2004.

- [10] 彭启琮,管庆. DSP 集成开发环境——CCS 及 DSP/BIOS 的原理与应用[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [11] 陈明,梁兴东,吴一戎.基于 H.264 的嵌入式无线视频监控系统的[J].微计算机信息,2008,32(5):10-12.
- [12] 魏本杰,刘明业,章晓莉.二维 DCT 算法及其优化的 VLSI 设计[J].计算机工程,2006,32(2):16-18.