

共生矩阵纹理特征的 DSP 优化实现

王职军¹, 梁光明², 刘任任¹, 徐克强¹, 谢俊¹

(1. 湘潭大学 信息工程学院, 湖南 湘潭 411105;
2. 国防科技大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410075)

摘要:灰度共生矩阵纹理特征具有计算复杂、耗费时间等问题, 严重影响了程序执行的效率。针对此问题, 分析了共生矩阵纹理特征的原理, 研究了 TMS320C6678 DSP 的结构性能, 提出了基于共生矩阵纹理特征的存取带宽和软件流水的优化方法, 在 CCS5.3 软件平台下选择 TMS320C6678 对其进行了程序实现, 最后使程序执行时间从 1.94 ms 减少到 0.259 ms。实验结果表明, 提出的优化方法能够缩减代码执行时间, 提升代码性能, 满足嵌入式图像处理系统的实际需要。

关键词:共生矩阵; 纹理特征; TMS320C6678; 优化

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)11-0013-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.11.004

DSP Optimized Implementation of Co-occurrence Matrix Texture Feature

WANG Zhi-jun¹, LIANG Guang-ming², LIU Ren-ren¹, XU Ke-qiang¹, XIE Jun¹

(1. College of Information Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China;

2. College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410075, China)

Abstract: Texture features based on Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) has the drawbacks of complex calculations and time-consuming, which seriously affects the efficiency of program execution. Aiming at this problem, analyze the principle of the extracted texture features based on GLCM in this paper, study on the performance of the TMS320C6678 DSP, propose the optimization method of access bandwidth and software pipelining based on GLCM texture feature, then achieve the optimization of GLCM-based texture features by using of TMS320C6678 in the CCS5.3 software platform, so that the program execution time is reduced from 1.94 ms to 0.259 ms. Experiment results show that the proposed optimization method can shrink code execution time, improve code performance and meet the needs of embedded image processing system.

Key words: co-occurrence matrices; texture features; TMS320C6678; optimization

0 引言

图像的纹理特征能够反映图像本身的属性, 而灰度共生矩阵法提取的纹理特征被理论证实并验证是一种行之有效的, 能够有效地提高图像的分类精度, 是比较通用的纹理特征提取方法之一。

由于灰度共生矩阵计算量大、浮点处理慢、耗时等问题^[1], 算法效率还不能很好地满足实际图像需要。为此, 国内外学者们提出了各种不同的改进算法, 如基于 DFT 和共生矩阵的纹理特征描述方法、和差统计

法、灰度共生链表 (GLCLL) 算法、灰度共生混合结构 (GLCHS) 算法、灰度共生集成 (GLCIA) 算法、统计灰矩链表法等^[2-4], 能够有效地缩减纹理特征计算的时间, 提高算法效率。

根据共生矩阵纹理特征原理, 结合 TMS320C6678 DSP 高速处理、并行、多核流水机制, 针对共生矩阵纹理特征, 提出了优化方法, 完成对共生矩阵纹理特征的优化, 改善了代码性能, 提高了代码执行时间, 满足了图像处理实际需要。

收稿日期: 2013-12-19

修回日期: 2014-03-25

网络出版时间: 2014-09-11

基金项目: 湖南省自然科学基金 (07JJ6115)

作者简介: 王职军 (1987-), 男, 硕士研究生, 研究方向为图像处理; 梁光明, 副教授, 研究方向为图像处理、军事通信与信息安全; 刘任任, 博士, 教授, 研究方向为多值逻辑、算法分析。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140911.0956.016.html>

1 共生矩阵纹理特征

1973 年 Haralick 等人提出了用灰度共生矩阵来描述纹理特征^[5],可以反映图像灰度在相邻间隔、方向、变化幅度上的综合信息。灰度共生矩阵提取纹理特征利用图像中两个位置的灰度的联合概率密度函数,统计图像中一定距离和一定方向的两点之间灰度的空间相关性,构建空间灰度共生矩阵,提取有意义的统计特征作为纹理特征的表达,形成基于灰度共生矩阵提取纹理特征的统计分析方法。

对于一幅图像 I , 设其灰度级^[6]为 N , 则灰度共生矩阵的大小为 $N \times N$, 灰度共生矩阵用 $P_d(a, b, \theta)$ 表示, 是相距为 d 在方向 θ 上的像素对 $a = F(x_1, y_1)$ 和 $b = F(x_2, y_2)$ 出现的概率。要统计像素对出现的概率, 需考虑这两像素点之间灰度的空间相关性; 两点之间的距离^[7] d 与方向 θ 以及像素对 $F(x_1, y_1)$ 与 $F(x_2, y_2)$, 尤其需选取合适的两点之间的距离 d 和方向 θ 来反映图像的纹理特征。一般来说, θ 方向取 $\pi/4$ 的整数倍, 0° 、 45° 、 90° 、 135° 四个方向^[8], 如图 1 所示。

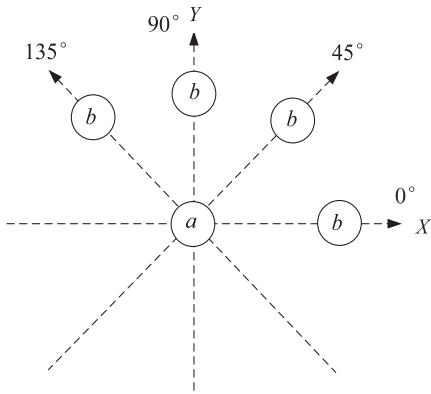


图 1 灰度共生矩阵四个方向

因此,可定义空间灰度共生矩阵为:对于给定的距离 d 和方向 θ , 一个像素灰度值为 $a = F(x_1, y_1)$, 另一个和其相距 d 且在方向 θ 上的像素灰度值为 $b = F(x_2, y_2)$ 的像素对出现的概率为 $P_d(a, b, \theta)$ 。则用记号 $\#x$ 表示集合 x 的所有元素数, (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 分别是像素对 a 和 b 的坐标, 当 $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 时, 综合灰度共生矩阵公式^[9]为:

$$P_d(a, b, 0^\circ) = \# \{ [(x_1, y_1), (x_2, y_2)] \in N * N \mid |x_2 - x_1| = d, y_2 - y_1 = 0, F(x_1, y_1) = a, F(x_2, y_2) = b \} \quad (1)$$

$$P_d(a, b, 45^\circ) = \# \{ [(x_1, y_1), (x_2, y_2)] \in N * N \mid (x_2 - x_1 = y_2 - y_1 = d) \text{ or } (x_2 - x_1 = y_2 - y_1 = -d), F(x_1, y_1) = a, F(x_2, y_2) = b \} \quad (2)$$

$$P_d(a, b, 90^\circ) = \# \{ [(x_1, y_1), (x_2, y_2)] \in N * N \mid x_2 - x_1 = 0, |y_2 - y_1| =$$

$$d, F(x_1, y_1) = a, F(x_2, y_2) = b \} \quad (3)$$

$$P_d(a, b, 135^\circ) = \# \{ [(x_1, y_1), (x_2, y_2)] \in N * N \mid (x_2 - x_1 = y_2 - y_1 = -d) \text{ or } (x_2 - x_1 = y_2 - y_1 = d), F(x_1, y_1) = a, F(x_2, y_2) = b \} \quad (4)$$

$$P_d(a, b) = \frac{P_d(a, b, 0^\circ) + P_d(a, b, 45^\circ) + P_d(a, b, 90^\circ) + P_d(a, b, 135^\circ)}{4} \quad (5)$$

给定一幅图像 I , 根据公式(1)、(2)、(3)、(4)能够获取四个方向上的灰度共生矩阵, 根据公式(5)获取的综合灰度共生矩阵提取出有意义的统计特征作为图像的纹理特征。下面是具有较好的分类精度的共生矩阵提取的四个纹理特征^[10]:

(1) 二阶角矩: 称为能量, 反映图像纹理粗细程度与灰度分布均匀程度。当图像表面呈现出较粗糙、灰度分布不均匀的状况下, 此时二阶角矩的值较小, 表明区域内图像灰度分布集中; 反之, 则较大, 表明区域内图像灰度分布均匀。

$$ASM = \sum_a \sum_b P(a, b)^2 \quad (6)$$

(2) 对比度: 反映图像纹理沟纹深浅的程度以及清晰度。当图像纹理沟纹较浅且图像模糊时, 对比度较小, 表明图像纹理不明显; 反之, 则对比度大, 表明图像纹理较清晰。

$$CON = \sum_a \sum_b (a - b)^2 P(a, b) \quad (7)$$

(3) 相关: 反映灰度共生矩阵在行或列方向上的相似程度, 当矩阵中某区域内的元素相差较小或者比较接近时, 此时相关值就较大, 否则, 相关值则较小。因此, 相关值的大小反映了图像中局部灰度的相关性。

$$COR = \left[\sum_a \sum_b ((ab)P(a, b) - \mu_x \mu_y) \right] / (\sigma_x \sigma_y) \quad (8)$$

式中, μ_x 和 μ_y 是行和列方向的均值; σ_x 和 σ_y 是行和列方向的方差, 计算如式(9)~式(12)。

$$\mu_x = \sum_a a P_x(a, b) \quad (9)$$

$$\mu_y = \sum_b b P_y(a, b) \quad (10)$$

$$\sigma_x = \sum_a (a - \mu_x)^2 P_x(a, b) \quad (11)$$

$$\sigma_y = \sum_b (b - \mu_y)^2 P_y(a, b) \quad (12)$$

(4) 熵: 反映图像中纹理的复杂程度或者灰度分散程度。它是一个随机性的图像信息量的度量。当图像分布分散且复杂程度高时, 熵值较大; 当图像元素分布均匀且复杂程度低时, 熵值较小。

$$ENT = - \sum_a \sum_b P(a, b) \log P(a, b) \quad (13)$$

2 TMS320C6678 芯片

TMS320C6678 DSP 采用 8 个 C66x 内核构建而成,且单个内核运行速度可达到 1.25 GHz, C66X 单核结构^[11]如图 2 所示。

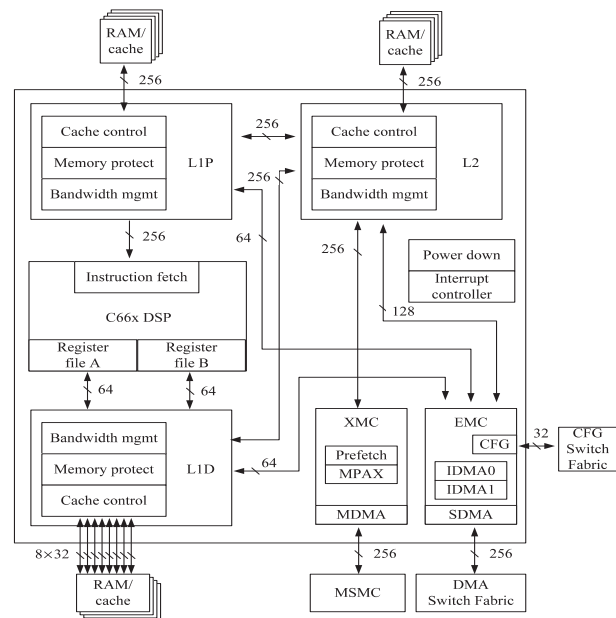


图 2 C66x 单核结构

TMS320C6678 DSP 是 TMS320C66x 系列的一款多核定点和浮点高性能数字处理器,基于 TI 的 KeyStone 多内核架构,与一般提供浮点处理单元的嵌入式处理器不同的是, C66x DSP 内核完美集成了 40 GMAC(乘累加运算次数)的定点计算性能和 20 GFLOP(每秒浮点运算次数)的浮点运算性能,为开发者提供了广阔的应用范围,如医疗图像、多媒体方案及高度智能化等其他高性能的应用。

C66x DSP 包括 2 个寄存器组、2 条并行的数据通路以及 8 个功能单元。两个寄存器组分别为 32 个 32-bit 寄存器,支持多种数据类型,主要包含 8-bit、16-bit、32-bit、40-bit、64-bit 打包数据和 128-bit 数据。2 条并行的数据通路分别包含 4 个功能单元(. M, . L, . D, . S),每个时钟周期可以执行一条指令,能够在两条数据通路中并行执行。M 功能单元执行乘法指令,主要包括定点指令和浮点指令,定点指令在一个时钟周期内可以执行以下运算^[12]: 4 个 8 bit×8 bit 乘法和一个加法, 8 个 8 bit×8 bit 乘法, 4 个 16 bit×16 bit 乘法和加减运算, 16 个 16 bit×16 bit 乘法, 4 个 16 bit×32 bit 乘法, 4 个 32 bit×32 bit 乘法。浮点指令在 1 个时钟周期内可以执行以下操作: 1、2、4 个单精度乘法或者一个双精度乘法,并且支持混合精度乘法(单精度数据和双精度数据相乘,两个单精度值相乘得到一个双精度值); . S 和 . L 功能单元执行算术、逻辑和分支等相关指令,且支持 64-bit 操作数,可以使每个周期执行

更多的并行指令; . D 功能单元负责储存读取数据。

3 共生矩阵纹理特征的优化

在 CCS5.3 软件平台上选择 TMS320C6678 DSP 进行共生矩阵纹理特征的优化,结合理论和实际应用,在不影响纹理特征且能减少共生矩阵尺寸的情况下,选择共生矩阵灰度级 32,共生矩阵两像素点间的距离为 2,结合 TMS320C6678 的特点,分析代码性能,对共生矩阵纹理特征进行优化,使其获得期望的性能。

3.1 共生矩阵纹理特征的存取带宽优化

存取带宽优化^[13]主要利用 TMS320C6678 的数据带宽优势和运算方式优势。数据带宽优势指 CPU 一次可以访问的数据量,即一个时钟周期内使用字访问半字数据或者使用双字访问字数据,使得一次可以访问多个数据。运算方式优势利用 DSP 的 2 条数据通路和 8 个功能单元,充分利用 DSP 的硬件资源,使之同时处理多个数据的运算。

分析共生矩阵提取纹理特征的原理,计算纹理特征时,寄存器每次加载一个浮点数据,处理速度较慢,可采用数据带宽优势对共生矩阵 X 和 Y 方向对其进行优化,使其每次可访问两个数据,有效提高数据访问速度,提高纹理特征的计算,如图 3 所示。

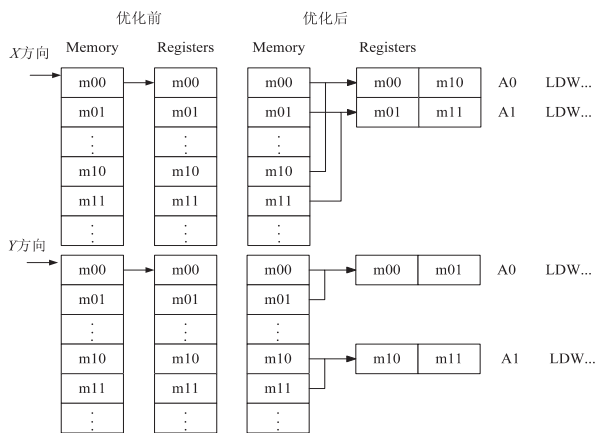


图 3 共生矩阵数据带宽优化

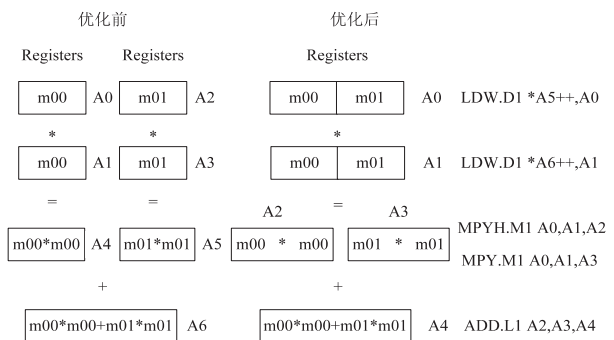
共生矩阵提取纹理特征,需要对共生矩阵的数据进行各种运算,由于计算特征运算量较大,则可采用运算方式优势对存储在寄存器中的多个数据同时进行运算,减少程序运算量,提高 DSP 硬件资源利用率,如图 4 所示。

共生矩阵纹理特征的存取带宽优化可有效地减少对内存的访问以及数据运算的强度,提高运算速度。

3.2 共生矩阵纹理特征的软件流水优化

软件流水^[14]优化是提高 DSP 程序执行效率的有效手段,它可以使若干条指令在不同执行阶段并行处理,主要从两方面进行:一是产生高性能的循环代码,主要包括执行并行指令、填充延迟间隙、功能单元使用

最大化等;二是由开发工具产生,主要包括由编译器选项-o2 或-o3 引入或者汇编优化器/C 优化器产生等。



共生矩阵纹理特征的提取,存在大量的循环操作,大部分的时间都消耗在循环上,而采用软件流水可有效开发循环并行性,提高程序执行效率,故可采用软件流水对共生矩阵纹理特征进行优化,引入编译器优化选项-o3,使其从程序内收集信息,尝试对程序循环实现软件流水,如图 5 所示。

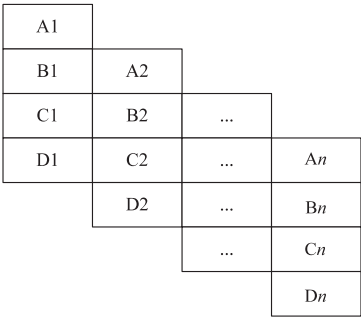


图 5 是一个软件流水循环,图中 A、B、C、D 分别表示各个阶段的指令。在循环中,同一周期可以并行执行 4 条指令,若所有指令为单周期指令,则在软件流水条件下,执行这个循环只需 $n+3$ 个时钟周期,在非软件流水条件下则需 $4n$ 个时钟周期。

为更好地产生高性能的循环代码,可通过向编译器提供循环信息,以便编译器能够较好的编排循环,充分利用 DSP 功能单元,最大限度地实现指令的并行,改善软件流水,提高代码执行性能。

若编译器能确定循环迭代至少执行 N 次, N 就是已知的最小循环迭代次数,软件流水结构都有一个最小安全循环迭代次数的要求,以保证用软件流水来执行循环程序是正确的。当编译器不能肯定最小循环迭代次数大于最小安全循环迭代次数时,编译器就会产生冗余循环,可用 MUST_ITERATE 向编译器输送循环次数信息将有效地解决冗余循环问题。循环展开是把小循环的迭代展开,增加循环体代码的并行执行,充分利用 DSP 功能单元,从而改善循环,更好地实现软件流水,提高代码执行效率。

4 实验结果及分析

在 CCS5.3 开发环境下,选择 TMS320C6678 DSP 仿真平台,以分割后的细胞图像(见图 6)的标注目标为共生矩阵纹理特征的输入,选择共生矩阵灰度级 32,共生矩阵两像素点间的距离为 2,利用上述优化方法,对共生矩阵纹理特征进行优化实现。

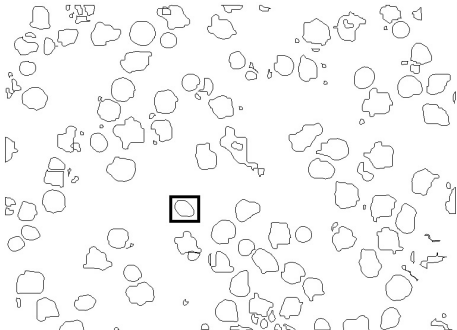


图 6 分割后的细胞图像

根据上述提出的共生矩阵纹理特征存取带宽优化(1)和软件流水优化(2)进行优化实现,可得程序优化后执行时间如表 1 所示。

表 1 程序执行时间

程序	时间 (cycle)
程序 1	1 940 315
优化 1	1 275 638
优化 2	259 709

由表 1 可以看出,对共生矩阵纹理特征的优化实现,使得程序执行时间由原来的 1.94 ms 减少到了 0.259 ms,使得共生矩阵纹理特征算法的性能得到大幅度提高,分析其优化过程,主要体现在:

- (1)减少了对内存的访问及数据运算强度;
- (2)增加了程序并行指令数;
- (3)程序实现软件流水。

在上述三个方面对程序实现了优化,使共生矩阵纹理特征程序执行时间大为缩减,改善了代码性能,满足嵌入式图像处理系统的需要。

5 结束语

分析了共生矩阵纹理特征原理,研究了 TMS320C6678 DSP 的结构特点,提出了基于共生矩阵纹理特征的存取带宽优化和软件流水方法,采用软件平台 CCS5.3 和 TMS320C6678 DSP 仿真平台进行优化实现,使程序执行时间由 1.94 ms 减少到 0.259 ms,有效地改善了代码的性能。如果还需要更好地缩减时间周期以及更进一步优化,则可以在耗费时间较长的程序中采用线性汇编重写,用汇编优化器优化来进一步实现。

5 结束语

文中针对大规模群体运动导致 $O(N^2)$ 的计算量的问题,利用现代图形处理器并行计算能力,创新性地使需要循环累加的合力通过 GPU 的光栅化及颜色混合功能在一次操作中完成累加,实现了一种基于 GPU 的群体运动仿真算法。该方法通过创建纹理存储个体状态,减少了 CPU 和 GPU 之间的通信;通过 Ping-Pong 技术将个体状态在 GPU 中循环动态更新。最终实现了在 GPU 动态环境中对大规模群体行为的实时模拟仿真。通过 Visual C++ 和 OpenGL 等开发出了应用软件。实验结果表明,该方法能够有效解决大规模群体运动中计算量大的问题,在不影响模拟效果流畅度的基础上,提高了渲染速度和渲染效率。

参考文献:

- [1] Reynolds C W. Flocks, herds and schools; a distributed behavioral model [C] // Proceedings of the 14th annual conference on computer graphics and interactive techniques. [s. l.]: [s. n.], 1987: 25–34.
- [2] Tu Xiaoyuan, Terzopoulos D. Artificial fishes: physics, locomotion, perception, behavior [C] // Proceedings of the 21st annual conference on computer graphics and interactive techniques. [s. l.]: ACM, 1994: 43–50.
- [3] 涂晓媛. 人工鱼—计算机动画的人工生命方法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [4] 张淑军. 虚拟海洋环境中人工鱼的认知模型和行为控制研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- [5] 张淑军, 陈戈, 陈勇. 人工鱼高级行为规划和运动模型

(上接第 16 页)

参考文献:

- [1] 焦蓬蓬, 郭依正, 刘丽娟, 等. 灰度共生矩阵纹理特征提取的 Matlab 实现 [J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(11): 169–171.
- [2] 王万迎, 彭荫荣. 基于 DFT 和共生矩阵的纹理特征描述方法 [J]. 微计算机信息, 2009, 25(5–3): 281–282.
- [3] David A C, Zhao Yongping. Grey level co-occurrence integrated algorithm (GLCAI): a superior computational method to rapidly determine co-occurrence probability texture features [J]. Computers & Geosciences, 2003, 29(7): 837–850.
- [4] 谢菲. 图像纹理特征的提取和图像分类系统研究及实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2009.
- [5] Haralick R M, Shanmugam K. Texture features for image classification [J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics, 1973, SMC-3(6): 610–621.
- [6] 冯建辉, 杨玉静. 基于灰度共生矩阵提取纹理特征图像的

研究 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(13): 3420–3424.

- [6] 王小伟, 郭力, 杨章远. N-body 算法及其并行化 [J]. 计算机与应用化学, 2003, 20(2): 195–200.
- [7] Fernando R, Kilgard M. Cg 教程—可编程实时图形权威指南 [M]. 宏伟, 刘亚妮, 李骑, 等, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2004.
- [8] Reynolds C W. Steering behaviors for autonomous characters [C] // Proceedings of game developers conference. [s. l.]: [s. n.], 1999: 763–782.
- [9] 杨延. 群体动画中自主智能体的行为控制 [D]. 成都: 电子科技大学, 2009.
- [10] 董刚. 基于自主智能体的群体动画创作方法研究与实现 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2004.
- [11] Drone S. Real-time particle systems on the GPU in dynamic environments [C] // Proc of SIGGRAPH 2007. [s. l.]: ACM, 2007: 80–96.
- [12] Reynolds C W. Interaction with groups of autonomous characters [C] // Proceedings of game developers conference. [s. l.]: [s. n.], 2000: 449–460.
- [13] Blythe D. The Direct3D 10 system [J]. ACM Transactions on Graphics, 2006, 25(3): 724–734.
- [14] Shreiner D, The Khronos OpenGL ARB Working Group. OpenGL 编程指南 [M]. 李军, 徐波, 译. 第 7 版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [15] He Z, Kuester F. GPU-based active contour segmentation using gradient vector flow [M] // Advances in visual computing. Berlin: Springer, 2006.
- [16] Cornwall J L, Kelly P. Efficient multiple pass, multiple output algorithms on the GPU [C] // Proc of 2nd European conference on visual media production. [s. l.]: [s. n.], 2005: 253–262.
- [7] 薄华, 马缚龙, 焦李成, 等. 图像纹理的灰度共生矩阵计算问题的分析 [J]. 电子学报, 2006, 34(1): 155–158.
- [8] 高程程, 惠晓威. 基于灰度共生矩阵的纹理特征提取 [J]. 计算机系统应用, 2010, 19(6): 195–198.
- [9] 梁光明. 体液细胞图像有形成分智能识别关键技术研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2008.
- [10] 杨帆. 数字图像处理与分析 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [11] Texas Instruments Incorporation. TMS320C6678 multicore fixed and floating-point digital signal processor [M]. USA: TI, 2011.
- [12] 李方慧, 王飞, 何佩琨. TMS320C6000 系列 DSPs 的原理与应用 [M]. 第 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [13] Texas Instruments Incorporation. TMS320C66x DSP CPU and instruction set reference guide [M]. USA: TI, 2010.
- [14] 郑阿奇. DSP 开发宝典 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.

共生矩阵纹理特征的DSP优化实现

作者：

[王职军](#)，[梁光明](#)，[刘任任](#)，[徐克强](#)，[谢俊](#)，[WANG Zhi-jun](#)，[LIANG Guang-ming](#)，[LIU Ren-ren](#)，[XU Ke-qiang](#)，[XIE Jun](#)

作者单位：

[王职军, 刘任任, 徐克强, 谢俊, WANG Zhi-jun, LIU Ren-ren, XU Ke-qiang, XIE Jun \(湘潭大学信息工程学院, 湖南 湘潭, 411105\)](#)，[梁光明, LIANG Guang-ming \(国防科技大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙, 410075\)](#)

刊名：

[计算机技术与发展](#)

英文刊名：

[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：

2014(11)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201411004.aspx