

仿生物视觉的非均匀采样方法及其硬件设计

张斌, 梅魁志, 郭青

(西安交通大学人工智能与机器人研究所, 710049, 西安)

摘要: 利用生物的选择注意机制可减少计算量的优势,提出了仿生物视觉的非均匀采样方法并实现了硬件设计. 利用基于高斯函数的模型模拟了生物视觉的选择性响应特性,由此得到采样层优先和采样密度优先的2种非均匀采样表达式. 在视觉处理芯片中,根据人眼特性并利用采样密度优先的方法,将图像分为4层进行非均匀采样和数据传送. 实验表明:较之已有的非均匀采样方法,所提方法更具生物视觉特性和物理可实现性,并具有较高的压缩率;当注视点为图像中心时,数据压缩率达到了1/28;利用任意选取注视点得到的非均匀采样数据恢复的图像效果符合人眼视觉特性.

关键词: 仿生物视觉;视觉处理芯片;非均匀采样

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2010)06-0099-05

Non-Uniform Sampling and Hardware Design of the Bionic Vision Method

ZHANG Bin, MEI Kuizhi, GUO Qing

(Institute of Artificial Intelligence and Robotics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The usage of biological vision selective attention mechanism (VSAM) is important in the vision research, and can reduce the computing data. A non-uniform sampling method of bionic vision is designed and implemented. A Gaussian function-based model is proposed from the analysis of the selective response characteristics of biological vision, and two non-uniform sampling expressions are obtained based on the priority of sampling layer and the priority of sampling density. According to characteristics of human eye, four non-uniform sample layers are carried out in images by the second expression, and the proposed sampling method is implemented in our self-designed vision chip. Experiment results and comparisons with existing non-uniform sampling methods show that the proposed method has the biological visual characteristics and hardware realization with a high compression ratio. The compression ratio reaches 1/28 when the focus point is in the image center, and the images restored from the non-uniform sampling data are in line with the VSAM of human eye.

Keywords: bionic vision; vision processing chip; non-uniform sampling

到目前为止,人类对视觉认知仍然知之甚少^[1-2]. 理解视觉机理、实现视觉处理系统,是视觉研究的一个主要方向. 目前,大多视觉处理系统是基于CPU和多级存储器结构的. 随着高精度传感器和大规模集成电路的发展,人们开始研究开发如何将图像传感器、视觉信息获取与计算模型综合的视觉芯片,所以具有选择注意机制的采样方法对视觉芯片

的实现意义重大^[3].

生物视网膜的光感受器是非均匀分布的,这种机制可以解决视觉系统中视场、分辨率和实时性之间的矛盾,其处理方法主要有类视网膜对数极坐标变换(LPT)采样法^[4-6]和分层采样法^[7],但是它们都存在一定的缺陷. 前者经过对数极坐标变换后,物体形状会发生变形和扭曲,这为模式识别带来了困难,

此外采样后数据量没有明显减少,还引入了处于图像边界外的无用像素,或者要丢失一部分像素^[4];后者采样参数的选择不能很好地符合生物视觉特性,计算复杂,在处理大尺寸图片时丢失的信息过多。

本文在对生物视觉进行深入研究的基础上,提出了一种符合生物视觉选择注意机制的非均匀采样方法,并在硬件上得以实现。

1 仿生物视觉的非均匀采样方法

对生物视觉机理进行研究发现,人和猫的视觉特性是非均匀的^[1,8],可以模拟为一个具有选择注意机制的可配置的数据处理过程。根据生物视觉的非均匀敏感性可定义一个注视区,注视区内的图像最为清晰,注视区外的图像逐渐模糊,也就是距离注视点越远,采样间隔越大。这样,在保证实现生物视觉特性的前提下,可以大幅压缩图像数据,减少数据的存储和处理。

综上,本文采用高斯函数作为非均匀采样模型的基础,用参数 d 表示像素点到注视点的距离,用参数 ρ 表示采样密度(采样密度用相对法计算,如:逐点采样,采样密度为 1;2 个像素点取 1 个,采样密度为 1/2;依次类推),注视点坐标为 (h_0, v_0) ,将视频图像以注视点为中心划分为 n 层,各层边界与注视点距离分别为 $d_1, d_2, \dots, d_n$,其中第 1 层就是注视区。与注视点距离为 d_i 的层采样密度为 $e_i, 1 \leq i \leq n$,采样层划分后如图 1 所示。

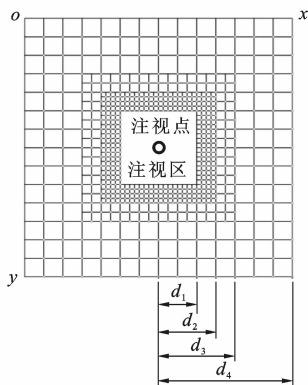


图1 非均匀采样层划分示意图

为了获得具有一般性的模型,对标准正态分布概率密度函数做一些数学变换。标准正态分布概率密度函数 $f(x) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-\frac{x^2}{2})$,将其自变量值扩展到图像大小,则函数最大值扩展为 1,由此得到非均匀采样的视觉模型

$$\left. \begin{aligned} f(x) &= \frac{5}{2(2\pi)^{1/2}} \exp(-\frac{1}{2}(4.3 \frac{x-H}{H})^2) \\ f(y) &= \frac{5}{2(2\pi)^{1/2}} \exp(-\frac{1}{2}(4.3 \frac{y-V}{V})^2) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: x, y 分别表示像素点距注视点的水平和垂直距离, $1 \leq x \leq X, 1 \leq y \leq Y$, X 和 Y 分别为视频图像的水平 and 垂直大小; H, V 为注视点坐标。为方便起见,令各层边界均为矩形且长宽比与所处理视频图像的长宽比相同。

实际应用时,根据重要性优先确定采样密度或者采样层边界,再由式(1)计算其余参数。这样,可以得到 2 种非均匀采样方法。

1.1 采样层优先

以注视点在图像中心为例,采样层优先方法(方法 1)描述如下。

(1)构建非均匀采样模型

$$\left. \begin{aligned} f(x) &= \exp(-\frac{1}{2}(4.3 \frac{x-X/2}{X/2})^2) \\ f(y) &= \exp(-\frac{1}{2}(4.3 \frac{y-Y/2}{Y/2})^2) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(2)根据视频图像大小,得到 X 和 Y 的值。

(3)人眼中央凹、黄斑和视网膜中央区的直径比值为 1:2:6,采样层数为 4,各采样层外边界距注视点的水平距离分别为 $X/12, X/6, X/2$,相应于 0、 $X/12, X/6, X/2$ 的采样密度分别为 1.000 0、0.773 5、0.358 0、0.000 1。

(4)根据硬件实现的难易程度调整计算所得参数,从而实现非均匀采样。

1.2 采样密度优先

以注视点在图像中心为例,采样密度优先方法(方法 2)描述如下。

(1)根据方法 1 中采样模型的反函数求得采样模型

$$\left. \begin{aligned} g(\rho_h) &= \frac{X}{2} \pm \frac{X(-2\ln\rho_h)^{1/2}}{2 \times 4.3} \\ g(\rho_v) &= \frac{Y}{2} \pm \frac{Y(-2\ln\rho_v)^{1/2}}{2 \times 4.3} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

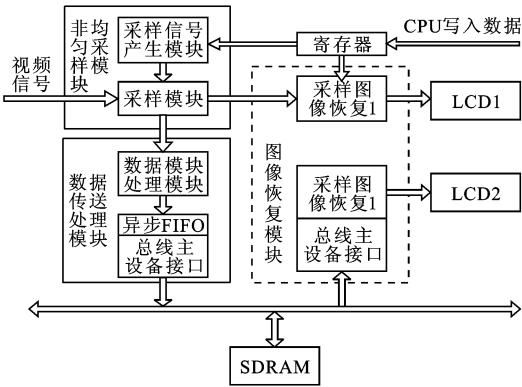
式中: $g(\rho_h), g(\rho_v)$ 分别表示相对于垂直和水平采样密度 ρ_h, ρ_v 的采样点距注视点的距离。

(2)根据视频图像大小,得到 X 和 Y 的值。

(3)根据硬件实现的难易程度确定采样层数(本文为 4),各层采样密度分别为 1、0.5、0.25、0.125。依据模型计算各层外边界距注视点的水平距离,分别为 $0.136\ 9X, 0.193\ 6X, 0.237\ 1X, 0.5X$,垂直距离同理可得。

2 非均匀采样在视觉芯片中的应用

为了对采样数据进行处理并显示效果,本文设计了结构如图 2 所示的非均匀采样系统,该系统主要由非均匀采样、数据传送处理、图像恢复 3 个模块组成.



LCD:液晶显示器; FIFO:先入选出队列;
SDRAM:同步动态随机存储器
图 2 非均匀采样系统结构

2.1 非均匀采样模块

非均匀采样模块由下述 2 部分组成.

(1)采样信号产生模块. 根据采样信息来处理采样层边界超出情况,再对水平和垂直 2 种采样信号求与,得到最终的采样信号. 利用水平和垂直坐标计数器(C_h 、 C_v)分别确定采样信号像素所在列和行,依据行和列求得采样点的采样层.

计数的同时会生成采样信号. 例如,在采样密度为 0.25 的区域,水平采样信号 h_{3_ref} 的计算式为

$$h_{3_ref} = C_{h[2]} \wedge h_{3_temp}$$

式中: $C_{h[2]}$ 为 C_h 的第 3 位; h_{3_temp} 为 $C_{h[2]}$ 延迟一个时钟得到的信号.

(2)采样模块. 利用采样信号生成模块产生非均匀采样信号,并进行图像采样.

2.2 数据传送处理模块

数据传送处理模块由以下 2 部分组成.

(1)数据格式处理模块. 如图 3 所示,注视点坐标和注视区域大小可作为包头信息(如果需要,可以将所有采样信息作为包头)在图像信息前进行传输,并将每 4 个采样点数据合并成 32 b 送给 FIFO.

(2)异步 FIFO 和总线主设备模块. 将输入的数据通过总线写入 SDRAM 中,当有效信息传送完成后,再传 32 个字(异步 FIFO 的深度)的 0,以确保所有图像信息被存储到存储器中.

2.3 图像恢复模块

(1)采样图像恢复模块 1. 该模块直接用采样模块产生的数据进行图像恢复. 当接收到恢复图像使能信号后,读寄存器中采样信息并产生采样信号. 用一个 H (图像长度) $\times 8$ (b)的随机存储器(RAM)作为缓存进行图像恢复. 恢复图像首行:当采样信号为高时,采样数据写入 RAM;当采样信号为低时,写入其前一个有效数据. 恢复后续行:当采样信号为低时,不改变 RAM 中的数据;当采样信号为高时,改写当前地址值,并将该值写入后续地址,直到下一次采样信号为高. 恢复数据经过 LCD 控制器,在 LCD1 上显示.

(2)采样图像恢复模块 2. 从 SDRAM 中读取采样信息,产生采样信号. 其他步骤同模块 1.

3 系统仿真和硬件实现

3.1 仿真结果

根据采样方法 2 计算出采样参数. 用 6 幅大小不同的彩色图像作为输入数据进行了非均匀采样的仿真(注视点为图像中心只对图像亮度信号进行采样),并将采样后输出的数据与原图像数据大小进行了比较(只存储亮度信号采样数据),结果如表 1 所示. 从表 1 可以看出,注视点在图像中心时,对原始图像的亮度信号进行采样,采样率(采样后数据/原始数据)可达到 28.

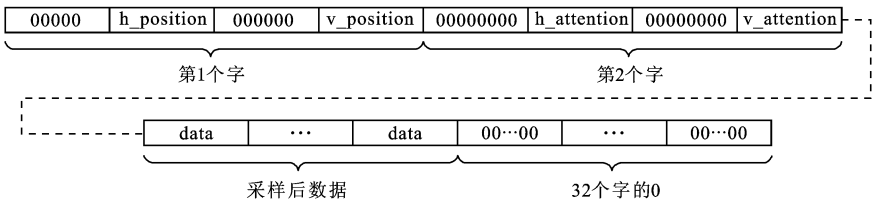


图 3 非均匀采样数据传输格式

表 1 采样后数据与原图像数据的比较

图像大小 /像素	采样率	原始图像数 据大小/kB	采样后数据 大小/kB
720×400	0.036	2 250	80
800×600	0.035	3 750	132
1 024×768	0.035	6 144	217
1 280×720	0.040	6 300	254
1 280×1 024	0.035	10 240	361
1 920×1 080	0.035	16 200	570

3.2 结果分析

表 2 为文献[7]总结的对数极坐标变换(LPT)方法和变参数对数极坐标变换(VPLPT)方法及本文 矩形非均匀采样(RNS)方法的采样率比较.

从表 2 可以看出,VPLPT 和 RNS 方法在图像大小改变后,采样率剧烈变化,而且注视区没有随图像大小变化,这些都不符合生物视觉的特性. LPT 方法不仅存在前 2 种方法的缺点,而且采样率很大. 本文提出的采样方法,采样率基本保持在 0.1 左右 (同文献[7]比较,并将表 1 中采样率乘以 3),注视

区大小与图像大小比例基本相同,所以本文方法是一种比较好的模拟生物视觉的选择注意机制.

表 2 文献[7]中 3 种采样方法的采样率比较

图像大小 /像素	采样率		
	LPT	VPLPT	RNS
70×70	8.952	1.045	0.881
128×128	3.083	0.359	0.284
256×256	0.888	0.099	0.077
512×512	0.252	0.027	0.022

3.3 系统硬件实现

基于 Altera 公司 EP2S90 FPGA 的验证平台见图 4a. 系统输入为高清摄像头(SONY 公司的 EVI-HD1)发送的 720 P/59.94(图像有效像素为1 280×720,帧频为 59.94 Hz)视频信号. 图 4b 为液晶显示器上显示的直接对采样后信号进行恢复的视频,灰色方框标出了注视区域. 图 4c 为对存储的采样信号进行恢复,并在液晶屏(分辨率为 800×480 像素,对图像进行了裁减)上显示的恢复后图像.



(a)验证平台 (b)液晶显示器显示效果 (c)液晶屏面板上的屏显示效果
图 4 非均匀采样硬件系统

4 结 论

本文提出的根据非均匀采样模型对视频图像进行非均匀采样的方法,能够很好地解决在进行视觉处理时,视频图像数据量大造成的硬件存储和计算开销大的问题. 在保证实现生物视觉特性的前提下,大幅度压缩视频图像的数据量,可减少硬件系统的运算量和数据存储空间,适合于实时性要求较高的系统. 随着视觉算法的发展,如何更好地使用非均匀采样数据,实现生物视觉领域的模式识别和视觉决策,将是一个新的挑战.

参考文献:

[1] 郑南宁. 计算机视觉与模式识别[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.

[2] DAVIES E R. Machine vision: theory, algorithms, practicalities [M]. 3rd ed. Singapore:Elsevier, 2009.

[3] MEI Kuizhi, ZHANG Bing, GE Chenyang. A hierarchical and parallel SoC architecture for vision processor [J]. IEICE Electronics Express, 2009, 6 (19): 1380-1386.

[4] BOLDUC M, LEVINE M D. A review of biologically-motivated space-variant data reduction models for robotic vision [J]. Computer Vision and Image Understanding, 1998, 69(2): 170-184.

[5] SANDINI G, QUESTA P, SCHEFFER D, et al. A

- retina-like CMOS sensor and its applications [C] // Proceedings of the 2000 IEEE Sensor Array and Multi-channel Signal Processing Workshop. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2000:514-519.
- [6] 李奇,冯华君,徐之海.自动对焦系统中图像非均匀采样的实验研究[J].光子学报,2003,32(12):1499-1501.
- LI Qi, FENG Huajun, XU Zhihai. Autofocus system experiment study using variational image-sampling [J]. Acta Photonica Sinica, 2003, 32(12): 1499-1501.
- [7] 瞿方,李言俊,张科,等.矩形非均匀采样算法和对数极坐标变换算法的比较分析[J].计算机应用,2007,27(7):1619-1622.
- ZI Fang, LI Yanjun, ZHANG Ke, et al. Comparative analysis on rectangular non-uniform sampling algorithm and log-polar transformation algorithm of image [J]. Computer Applications, 2007, 27(7):1619-1622.
- [8] RODIECK R W. Quantitative analysis of cat retinal ganglion cell response to visual stimuli [J]. Vision Research, 1965, 5(11):583-601.
- [本刊相关文献链接]**
- 全局重建和位置块残差补偿的人脸图像超分辨率算法.西安交通大学学报,2010,44(4):9-12.
- 利用粒子群优化的人脸特征提取识别算法.西安交通大学学报,2010,44(4):48-51.
- 面向多源知识融合的扩展主题图相似性算法.西安交通大学学报,2010,44(2):20-24.
- 一维子空间的三维重建方法.西安交通大学学报,2009,43(12):31-34.
- 一种适合漫反射表面从明暗恢复形状的快速算法.西安交通大学学报,2009,43(10):7-11.
- 基于特征层和二代曲波变换的多模生物特征融合识别方法.西安交通大学学报,2009,43(10):32-36.
- 利用单幅影像的空间目标姿态测定方法.西安交通大学学报,2009,43(9):56-61.
- 一种从明暗恢复形状的快速黏性解算法.西安交通大学学报,2009,43(6):43-47.
- 人眼视觉特性与粗糙集结合的X射线图像增强算法.西安交通大学学报,2009,43(6):48-51.
- 三维子空间约束的遮挡点恢复方法.西安交通大学学报,2009,43(4):10-13.
- 一种Log-Gabor滤波器结合多分辨率分析的虹膜识别方法.西安交通大学学报,2009,43(4):31-33.
- 利用贫富差距原理进行图像边缘检测.西安交通大学学报,2009,43(4):44-48.
- 透视投影下的镜面反射表面形状恢复新算法.西安交通大学学报,2009,43(2):6-9.
- 求积分卡尔曼粒子滤波算法.西安交通大学学报,2009,43(2):25-28.
- 一种轮廓变化图像小波矩的步态识别.西安交通大学学报,2009,43(1):90-94.
- 一种基于分辨函数的属性约简算法及其应用.西安交通大学学报,2008,42(12):1455-1458.
- 一种无需匹配的多目重构方法.西安交通大学学报,2008,42(12):1476-1480.
- 一种八叉树编码加速的3D纹理体绘制算法.西安交通大学学报,2008,42(12):1490-1494.
- 采用二代曲波变换和反向传播神经网络的人脸识别方法.西安交通大学学报,2008,42(10):1213-1216.
- 一种Roberts自适应边缘检测方法.西安交通大学学报,2008,42(10):1240-1244.
- 带多局部形状参数的三次扩展均匀B样条曲线.西安交通大学学报,2008,42(10):1245-1249.
- 自适应估计模糊参数的最大后验概率超分辨率复原算法.西安交通大学学报,2008,42(10):1254-1258.
- 基于等高线的图像特征表达.西安交通大学学报,2008,42(4):385-388.
- 二阶中心差分粒子滤波算法.西安交通大学学报,2008,42(4):409-413.
- 一种由明暗恢复形状的改进变分算法.西安交通大学学报,2008,42(4):418-422.
- 一种基于虹膜和人脸的多生物特征融合方法.西安交通大学学报,2008,42(2):133-137.
- 质心迭代图像跟踪算法.西安交通大学学报,2007,41(12):1396-1400.
- 基于球体追踪的动态视差遮挡映射算法.西安交通大学学报,2007,41(12):1401-1405.
- 一种有效抑制睫毛干扰的虹膜定位算法.西安交通大学学报,2007,41(10):1175-1178.
- 一种针对非均匀有理B样条曲面的碰撞检测算法.西安交通大学学报,2007,41(4):389-392.
- 基于直方图偏差约束的快速模糊C均值图像分割法.西安交通大学学报,2007,41(4):430-434.
- 基于二维条码的指纹特征信息隐藏方法研究.西安交通大学学报,2007,41(2):145-148.

(编辑 苗凌 刘杨)