

WMSN 中基于兴趣区域检测的 JPEG 编码算法*

张欢¹, 樊晓平^{1,2}, 刘少强¹, 熊哲源¹, 钟智¹

(1. 中南大学信息科学与工程学院, 长沙 410075; 2. 湖南财政经济学院网络化系统研究所, 长沙 410205)

摘要: 为了提高资源受限的无线多媒体传感器网络中视频监控图像序列的压缩效果, 提出一种基于变化检测和 DCT 系数裁剪的 JPEG 图像编码方法。通过变化检测算法确定监控图像中的兴趣区域, 对于兴趣区域保留全部 DCT 系数进行编码, 在背景区域编码时对 DCT 系数进行裁剪。算法分析和仿真实验结果表明, 提出的方法能同时保证高的压缩率和兴趣区域的图像质量, 在图像质量和能量消耗之间达到了一个较好的平衡。

关键词: 无线多媒体传感器网络; 图像编码; 变化检测; JPEG; DCT

中图分类号: TN911.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)06-2283-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2012.06.075

Interesting of region-based JPEG coding algorithm for wireless multimedia sensor networks

ZHANG Huan¹, FAN Xiao-ping^{1,2}, LIU Shao-qiang¹, XIONG Zhe-yuan¹, ZHONG Zhi¹

(1. School of Information Science & Engineering, Central South University, Changsha 410075, China; 2. Laboratory of Networked Systems, Hunan University of Finance & Economics, Changsha 410205, China)

Abstract: To solve the problems of compression of video-surveillance image sequences collected by a wireless multimedia sensor network, this paper proposed an image compression scheme based on change detection and reduced part of DCT coefficients. Changing detection finds the region of interest for the image, in which all DCT coefficients was saved and coding; DCT coefficients would be cut in the background. Simulation results show that this proposed algorithm can increase compression ratio and image quality, balance between image quality and energy consumption.

Key words: wireless multimedia sensor networks; image coding; change detection; JPEG; DCT

0 引言

近年来,无线传感器网络(WSN)的研究引起了人们极大关注,研究的范围也由只能采集简单环境数据的无线传感器网络延伸到了能采集大数据量的图像、视频信息的无线多媒体传感器网络(WMSN)^[1]。由于WMSN在能量、计算和存储等方面受到的限制,在传输多媒体数据特别是视频数据之前需要对其进行压缩编码,减少数据传输量,节约能量。但是有损压缩会使图像失真,且压缩率越高,图像重建质量越差;并且,图像编码的计算复杂度较高,会消耗许多能量。如何同时保持较低的能量消耗和可靠的图像重建质量,需要在计算复杂度和通信数据量之间达到平衡^[2]。

JPEG压缩算法是为静态图像所建立的第一个国际数字图像压缩标准,也是至今一直在使用的、应用最广的图像压缩标准。目前,已有一些在WMSN中使用JPEG算法的研究。Feng等人^[3]使用JPEG、差异JPEG和条件补给的压缩方式设计了一个视频传感器节点平台,当图像像素为640×480时,可以达到每秒10帧的速度。Mammeri等人研究了JPEG中8×8 DCT系数矩阵的裁剪优化^[4-6],进行DCT变换时,选择处理8×8

矩阵中的一个方块区域和一个三角形区域的系数,分析裁剪后编码的能量消耗与图像质量,并提出了全局和局部两种选择系数区域尺寸的方法。文献[7]在压缩域中运用子带DCT,通过低通截断近似算法来调整图像大小,并且在空域中通过应用一个16点逆DCT来直接将压缩图像的DCT系数转换为一个16×16像素块的图像。Lee等人提出了改进的JPEG图像编码方案^[8,9],在确保编码所需最小精度的情况下,通过分析法决定如何分配最优整数和带宽给压缩过程的信号路径,以降低计算复杂度,并保证较好的图像质量。

基于小波变换的JPEG2000压缩算法压缩性能良好,支持兴趣区域编码,尤其是在大压缩比的自然景物图像数据压缩中,在恢复图像质量方面也显示出其他方法不能比拟的优势。然而,基于小波变换的压缩算法存在计算复杂度高、存储量急剧增加的问题。要将基于小波变换的压缩算法应用于WMSN中,亟需解决的问题是降低计算复杂度和存储量要求。此外, JPEG由于可以提供有损压缩,压缩比是其他传统压缩算法无法比拟的。所以本文在JPEG压缩算法的基础上进行改进,检测兴趣区域,对不同区域使用不同DCT系数进行编码,既保证了图像质量,又提高了图像的压缩率。

在一幅图像中,信息量主要集中在DCT系数低频部分。

收稿日期: 2011-09-29; **修回日期:** 2011-11-05 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60776834,60870010)

作者简介: 张欢(1987-),女,辽宁铁岭人,硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络(csuzhh@126.com);樊晓平(1961-),男,教授,博导,主要研究方向为智能控制、无线传感器网络、智能信号处理等;刘少强(1964-),男,副教授,博士,主要研究方向为传感器及智能检测技术、无线传感器网络;熊哲源(1982-),男,博士研究生,主要研究方向为无线多媒体传感器网络、图像处理;钟智(1982-),男,博士研究生,主要研究方向为无线传感器网络定位、路由协议。

高频系数的重要性通常较小,在量子化后容易变为零。本文通过计算检测图像与参考帧相应图像块间的 DC 系数差值的绝对值,与阈值比较进行变化检测,划分出兴趣区域部分与背景区域部分。在背景区域部分对 DCT 变换后的系数进行裁剪,既可以在兴趣区域部分为确保图像质量不对 DCT 系数进行裁剪,这样,在兴趣区域部分保证高的图像质量,又可以在背景区域部分保持高的压缩率。对整幅图像而言,在节约能量的同时也保证了兴趣区域的图像质量。

1 JPEG 编码和改进

1.1 JPEG 编码算法

JPEG 编码过程如图 1 所示。目标图像被分割成若干个 8×8 的图像块,通过离散余弦变换去除数据冗余。使用统一的量子化表格对变换后的系数进行量子化操作,量子化的结果按照频率由低到高的顺序进行 ZigZag 排序,对排序后的数据进行压缩编码使其熵达到最小^[10]。压缩图像数据可以方便地存储和转发,以达到节省存储空间和网络带宽的目的。

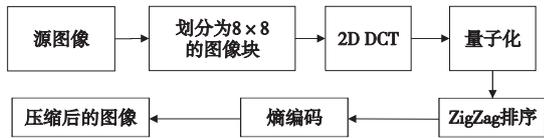


图1 JPEG编码过程

1.2 兴趣区域

对于视频监控的图像,场景中的运动目标会形成图像中的变化场景。将图像中变化场景部分定义为兴趣区域,将其他部分定义为背景区域。寻找出图像中的兴趣区域,降低其压缩率来提高该区域的图像质量;在背景区域提高压缩率来减少传输的数据量,这样就能在保证不丢失重要信息的同时又有效地压缩背景区域部分的数据量。

视频监控的任务是探测并跟踪进入监控区域的目标,一帧图像中任何显著的变化都可能表示一个移动的目标。将变化区域标记之后,可以进行深入处理,如跟踪和识别。变化检测算法是用来检测同一场景中不同时间捕获的图像序列中的变化区域,通过当前帧和参考帧的比较找到活动的块,由此获得与移动目标相关的连通区域^[11]。使用一幅固定的参考帧,能够探测新进入场景的物体,即使它突然停止运动;还可以探测从场景中消失的物体。这些是大多数视频监控应用中所要关注的重要特征。

1.3 JPEG 编码算法改进

DCT 变换之后,图像中最有价值的信息通常保存在 DCT 系数的低频部分。并且,在量子化后,许多 DCT 高频系数都变为零。本文在 DCT 变换后,通过变化检测算法检测出兴趣区域。对兴趣区域部分保留全部 DCT 系数进行 JPEG 编码操作,保证高的图像质量;对背景区域部分对 DCT 系数进行裁剪,将 DCT 系数的 AC 系数部分置零,即在背景区域部分每个 8×8 图像块中仅保留 DC 系数,所以在量子化后可以省略 ZigZag 排序部分,直接进行熵编码。这样背景区域的图像块仅需计算 DCT 的 DC 系数部分,大大节省了量子化和编码部分的能量。

在初始阶段,设定阈值,把参考帧划分为若干个 8×8 图像块,对每个图像块进行 DCT 变换,得到图像块的 DCT 系数,并将 DC 系数保存在数组中。然后将当前帧图像同样划分成若

干个 8×8 图像块,经过 DCT 变换后,得到当前帧图像块的 DCT 系数,并在另一数组中保存其 DC 系数。再计算当前帧和参考帧相应图像块中 DC 系数之差,对其差值取绝对值。最后将绝对值与设定的阈值进行比较,如果绝对值超过阈值,则将此图像块判断为兴趣区域。为了提高兴趣区域的质量,除了将检测到的 DCT 系数的 DC 部分之差绝对值大于阈值的图像块判定为兴趣区域外,将与此图像块八连通的所有图像块也划入兴趣区域范围内,其他图像块则作为背景区域部分。对兴趣区域的图像块,要保证图像质量,保留全部 DCT 系数,进行压缩编码;对于背景区域,要保证高的压缩率,对 DCT 系数进行裁剪,仅保留其 DC 系数,进行压缩编码。具体步骤如下:

a) 初始阶段。设定阈值 TH ,将参考帧图像划分成若干个 8×8 图像块,对每个图像块进行 DCT 变换,保留变换后的 DC 系数,存储在数组 $dc[i]$ 中。

b) 将当前帧图像同样划分成若干个 8×8 图像块,对每个图像块进行 DCT 变换,计算每个图像块中 DCT 系数的 DC 系数 $DC[i]$,并计算相应 $DC[i]$ 与 $dc[i]$ 之差的绝对值 $|DC[i] - dc[i]|$,然后与预设阈值 TH 比较。

c) 如果 $|DC[i] - dc[i]| > TH$,将此图像块及与此图像块八连通的所有图像块都定义为兴趣区域,而将其他部分定义为背景区域。

d) 在兴趣区域部分不对 DCT 系数进行裁剪,保留全部的 DCT 变换系数。在背景区域部分,对 DCT 系数进行裁剪,只保留图像块中 DCT 系数的直流部分,即 DC 系数,将交流系数置零,不参与后续计算。

2 算法分析

2.1 压缩后数据量分析

克尔斯博公司的无线传感器节点平台 Imote2 是目前比较先进的节点平台,它是具有 256 kb 的 SRAM、传输速率为 250 kbps 的无线收发装置。如果一帧图像的大小为 132kb,以 25Hz 的速度采集 512×512 像素的监控图像时,1 s 就会产生 3300 kb 的数据。这些图像数据超过了 SRAM 的存储空间和无线电的传输能力。节点不但无法完成数据传输任务,而且会消耗大量能量。如果在进行变化检测之后,保留兴趣区域的图像质量,背景部分只保留 DC 系数,然后进行压缩编码,压缩后的数据量小于 10 kb,就能使 1 s 内产生的数据小于 250 kb,Imote 2 就可以完成数据传输任务,并可以有效节约计算和通信能耗。

2.2 变化检测运算量比较

已经采用的变化检测算法有很多。在整幅图像中,逐个对像素块进行比较、判断兴趣区域的方法,以下简称为像素检测。在每个图像块中把所有像素值进行相加后,得出图像块中的像素总和,再进行比较、判断兴趣区域的方法,以下简称为块和检测。使用本文提出的 DCT 变换后只比较 DC 系数的方法,以下简称为 DC 检测。本文对采用不同变化检测算法需要的运算量进行了比较,结果如表 1 所示。对于 512×512 的图像,如果采用像素检测法,需要进行 524 288 次加法;如果采用块和检测法,仅需要进行 266 240 次加法;如果使用 DC 检测法,需要 8 192 次加法。

3 仿真实验

在 PETS' 2000 (2000 IEEE International Workshop on Per-

formance Evaluation of Tracking and Surveillance) 测试数据集中选取部分图像进行实验。本文所选的是户外停车场的监控图像,测试图像序列一共有 1452 帧,是一个摄像头以 25 Hz 的速度在 58.08 s 内拍摄的。图像原始格式为 768 × 578 像素的彩色图像。选取编号为 0109、0120、0130、0140、0150、0160、0170、0180、0190 图像帧进行实验,并先将它们转换为 512 × 512 像素的灰度图像。将其中 0109 帧作为参考帧,其余各帧作为不同时刻的当前帧。分别对参考帧和当前帧的压缩效果、不同变化检测算法的压缩效果和选用相同参考帧不同时刻帧的压缩效果进行了仿真实验。

表 1 变化检测运算量比较

比较项	变化检测算法(512 × 512)		
	像素检测	块和检测	DC 检测
加法运算次数	$512 \times 512 \times 2 = 524\ 288$	$(512/8)^2 \times (63 + 2) = 266\ 240$	$(512/8)^2 \times 2 = 8\ 192$

3.1 参考帧和当前帧压缩效果

图 2(a) 是 0109 帧,被选作参考帧;(b) 是参考帧仅保留 DCT 系数中的 DC 系数的 JPEG 算法压缩后的图像;(c) 是编号为 0130 的当前帧,可以发现在场景中有一辆车正在通过停车场,而这辆车正是系统比较关心的区域,在变化检测中将此部分区域判定为兴趣区域,以提高车身图像质量,其他部分判定为背景区域,可以丢弃部分信息,提高压缩率;(d) 为压缩后的当前帧,可以发现,通过停车场的车辆部分图像非常清晰,基本保留了全部车身细节,但是在背景区域则比较模糊,类似于压缩后的参考帧部分。



图 2 参考帧和当前帧

3.2 不同变化检测方法压缩效果

分别使用像素检测、块和检测和 DC 检测三种不同的变化检测算法压缩 0130 帧图像。由图 3 及表 2 可知,使用不同的变化检测算法,压缩后的图像质量和大小都不相同。如图 3(a) 所示,在使用像素检测时,变化边缘较清晰,但是运动车身模糊,这是因为虽然检测相应图像块的 DC 系数不同,但 AC 系数部分相同,导致 AC 系数之差小于阈值,被判定为背景区域部分,使相应 AC 系数置零,部分细节丢失。由图 3(b) 可知,使用块和检测时,边缘比较清晰,定位的运动车辆范围较小,车身细节比图 3(a) 要好,但是也丢失了部分车身细节。而从图 3(c) 可以看出,变换边缘不太明显,但是整个车身细节都比较清晰,定位的运动车辆范围较大。表 2 为对 0130 帧使用不同的变化检测算法检测兴趣区域,其压缩后的图像与原始图像大小的比较,其中 0130 帧在压缩前大小为 130 kb。使用像素检测时,压缩后图像大小为 5.22 kb,压缩后图像最小,虽然压缩率最高,传输过程中需要能量最少,但是像素检测的变化车身非常模糊,而且计算量非常大,计算过程需要消耗许多能量。使用块和检测压缩后的图像略小于用 DC 检测的压缩后的图像,但是车身部分细节没有检测出来,并且要在比较之前先计算图像块中所有像素之和,由表 1 可知,对于每一个 8 × 8 图像

块需要多做 63 次加法运算,运算所需能量较多。



图 3 使用不同变化检测方法压缩结果

表 2 变化检测后图像与原始图像大小对比

检测方法	压缩后图像大小/kb	百分比/%
像素检测	5.22	4.02
块和检测	6.68	5.14
DC 检测	6.94	5.34

3.3 不同时刻当前帧压缩效果

对不同时刻的当前帧进行压缩,各当前帧压缩后的结果如图 4 所示,运动车辆的细节都比较精确,可以监控车辆运行的整个过程,可以比较准确地定位运行车辆在停车场中的位置,保证了变化场景部分的图像质量。相对于参考帧场景没有变化的背景区域部分都比较模糊,使用了高压缩比,牺牲了背景区域图像质量。表 3 为不同帧压缩后的图像与原始图像大小的对比。可以发现,压缩后的图像大小大概只有原图像的 5% 左右,大小约为 6.8 kb,1 s 能产生约 170 kb 数据,小于 250 kb, Imote2 可以完成数据的传输任务。

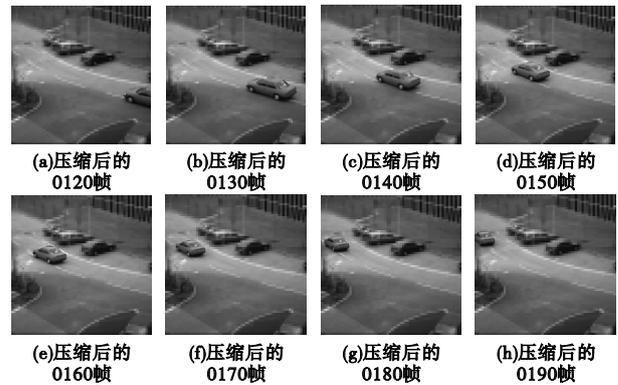


图 4 不同时刻当前帧压缩效果

表 3 变化检测后图像与原始图像大小对比

图像编号(512 × 512)	完整帧/kb	检测结果/kb	百分比/%
0120	133	5.94	4.47
0130	130	6.94	5.34
0140	135	6.84	5.07
0150	134	6.82	5.09
0160	135	6.62	4.90
0170	134	6.31	4.71
0180	134	6.12	4.57
0190	133	5.81	4.37

4 结束语

本文提出一种基于 DCT 系数的裁剪和变化检测的 JPEG 图像压缩算法。在 DCT 域对每个图像块使用变化检测能准确找出兴趣区域,划分出背景区域,可以在保证兴趣区域图像质量时同时提高背景区域的压缩比。对停车场监控图像的仿真实验表明,变化检测算法能有效地检测到变化(下转第 2309 页)

(上接第 2285 页)区域,这个压缩算法能在降低节点能量消耗的同时,保证图像质量,适用于资源受限的 WMSN 节点。

参考文献:

- [1] AKYILDIZ I F, MELODIA T, CHOWDHURY K R. A survey on wireless multimedia sensor networks [J]. *Computer Networks*, 2007, 51(4): 921-960.
- [2] 樊晓平,熊哲源,陈志杰,等. 无线多媒体传感器网络视频编码研究[J]. *通信学报*, 2011, 32(9):137-146.
- [3] FENG Wu-chi, KAISER E, FENG Wu-chang, *et al.* Panoptes: scalable low-power video sensor networking technologies [J]. *ACM Trans on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, 2005, 1(2):151-167.
- [4] MAMMERI A, KHOUMSI A, ZIOU D, *et al.* Energy-aware JPEG for visual sensor networks [C]//Proc of Maghrebian Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence. 2008:1-7.
- [5] MAMMERI A, KHOUMSI A, ZIOU D, *et al.* Modeling and adapting JPEG to the energy requirements of visual sensor networks [C]//Proc of the 17th International Conference on Computer Communication and Networks. 2008:1-6.
- [6] MAMMERI A, KHOUMSI A, ZIOU D, *et al.* Energy efficient trans-

mission scheme of JPEG images over VSN [C]//Proc of the 4th IEEE International Workshop on Performance and Management of Wireless and Mobile Networks. 2008:639-647.

- [7] MUKHERJEE J, MITRA S K. Image resizing in the compressed domain using subband DCT[J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology*, 2002, 12(7):620-627.
- [8] LEE D, KIM H, TU S, *et al.* Energy-optimized image communication on resource-constrained sensor platforms [C]//Proc of the 6th International Symposium on Information Sensor Networks. [S. l.]: IEEE, 2007: 216-225.
- [9] LEE D, KIM H, TU S, *et al.* Energy-efficient image compression on resource-constrained platforms [J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2009, 18(9): 2100-2113.
- [10] CHIEN S Y, HUANG Y W, CHEN C Y, *et al.* Hardware architecture design of video compression for multimedia communication systems [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2005, 43(8): 123-131.
- [11] RADKE R J, ANDRA S, AL-KOFAHI O, *et al.* Image change detection algorithms: a systematic survey [J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2005, 14(3):294-307.