

一种改进的有效运动估计方法——准菱形搜索法

龚涛 丁润涛

(天津大学电子信息工程学院, 天津 300072)

摘要 根据基于对象的 MPEG-4 视频标准^[1], 以对象宏块的运动矢量作类似的多边形匹配, 利用相邻帧中运动矢量和图象像素的相关性, 提出了一种“准菱形”搜索运动估计方法. 该方法在图象运动复杂的情况下, 不仅能根据方向选择来扩大搜索范围, 而且能有效地降低搜索点数和搜索次数. 该算法利用 C 语言编程, 结合 Matlab 数学工具来处理典型图象序列, 其结果表明, 该方法与菱形搜索、六角形搜索相比, 具有既能够有效地保持图象质量又能降低计算的复杂度等优点.

关键词 运动估计 单一平面假设 准菱形搜索 菱形搜索 六角形搜索 搜索模式

中图分类号: TN941.1 TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2002)11-1181-06

A Modified Motion Estimation Algorithm ——Pseudo-Diamond Search Method

GONG Tao, DING Run-tao

(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract Considering the object-based video standard MPEG-4^[1], this paper proposes a new motion estimation method——pseudo-diamond searching algorithm(PDS), which uses motion vector as referent variable to execute a polygon matching procedure. The motion vectors in near blocks and points in same blocks between sequent frames are correlated. Considering these characteristics, pseudo-diamond searching method uses a direction-selective strategy to reduce the average searching points and enlarge the searching region. This strategy is efficient under the conditions where movement is complex and vehement. Using C programming and using matlab kits to test an image sequence, this paper shows that such method, compared with the diamond search method (DS) and Hexagon-based Search Method (HS), keeps the image quality efficiently as well as reducing the computation complexity.

Keywords Motion estimation, UESA, Pseudo-diamond search (PDS), Diamond search (DS), Hexagon-based search (HS), Searching pattern (SP)

1 MPEG-4 中的宏块及运动矢量的性质

目前已研究出多种用于运动估计的方法, 如全搜索法(FS)、基于块的分层匹配法(Multi-Layer)、三步法(TTS)、新三步法(NTTS)^[2]等. 大家知道, 计算量和时间是图象序列重建需考虑的重要因素, 也是运动估计要考虑的问题, 如全搜索法, 由于计算量过大, 没有得到广泛的应用; 而块匹配方法

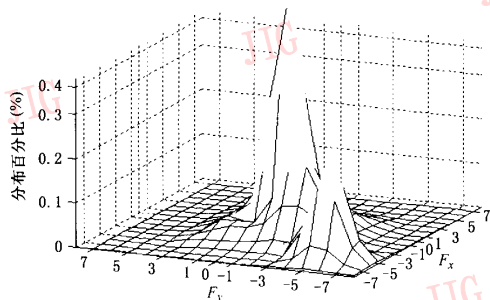
(BMA)则因其简单有效, 而被多种视频标准用于进行视频处理.

目前通用的基于对象的 MPEG-4 视频标准^[1]中, 视频对象可用对象内部块(Interior Block)、对象外部块(Exterior Block)、对象边缘块(Edge Block) 3种宏块进行描述, 其中, 前两个宏块的运动估计方法与 MPEG-2 标准相似; 而后者则在对其进行运动估计时, 采用多边形块来进行块匹配, 并计算该对象块的匹配误差.

对于一般的图象序列,由统计学计算可以发现,宏块中的运动矢量大多集中于搜索窗口的中心附近.在视频序列中,静止和小运动块的数量很多,且在运动中的同一对象宏块,其保持一致的概率远大于同一帧中所有宏块保持一致的概率.运动矢量的这种性质可由图1说明,其中,图1(a)为Savage Man序列中的一帧图象;图1(b)是用全搜索(FS)法得到的该帧运动矢量分布图,搜索范围为 15×15 .



(a) Savage Man 序列中一帧



(b) 该帧运动矢量分布图

图1 运动矢量分布特性示意图

从图1(b)可以看出,该帧图象中大部分点的运动矢量都很小,且均集中在搜索窗中心附近,其中,运动矢量为 $(-5, -5)$ 的点很多,构成了一个偏移中心.通过分析原图象序列可以看出,这些运动矢量正对应于原图象序列的主要运动(Savage man头的斜向运动——点头).另外,对于一般图象序列,当远离全局最优匹配点时,匹配误差可近似地认为随距离呈线性增加(单一平面假设UESA,见文献[3]).

基于运动矢量的上述性质,一般采用下述方案进行运动估计,即采用多种搜索模式(SP)来进行搜索.对于搜索窗中心附近的点则是以某种方式来搜索相邻点,以便有效地找到匹配点;对于远离搜索窗中心的点,则采用不同的搜索模式来扩大搜索范围,以快速定位匹配点.这样,由于采用的运动矢量在正交坐标系中的分矢量很小,因此便于降低码率,也利于传输,其搜索中的判决条件为与规定阈值相比较的误差

参数.这种误差参数有多种,例如均方误差(MSE)、平均绝对误差(MAD)等,其中,MAD定义如下:

$$MAD(x, y) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} |F_n(i, j) - F_{n-1}(i+x, j+y)|$$

$$- W \leq x, y \leq W$$

其中, F_n 和 F_{n-1} 分别为当前块和前一帧中的对应块,大小均为 $N \times N$,MPEG-4的宏块标准中, N 取16,MPEG-2中 N 取8. W 为块运动在水平和垂直方向上最大位移,搜索窗的大小为 $(2W+1)^2$.

2 准菱形搜索

2.1 菱形搜索和六角形搜索

基于MPEG-1、MPEG-2、MPEG-4或H.261的多边形匹配方法一般采用2个或多个匹配模式进行搜索.文献[4]在文献[5]方法的基础上,提出了改进的菱形搜索算法(DS)(如图2所示).该方法过程如下:首先搜索呈大菱形展布的8个点(图2上标为①的点)和中心点 o ,并给定阈值;若中心点的MAD值最小,再搜索呈小菱形展布的4个点(图2上标为②的点)与中心点 o ,若有最优值,即找到匹配点,则搜索结束.这样一个基本的菱形搜索方法所用的最少搜索点数为13(如图2所示).文献[6]根据文献[7]、[8]中的方法,提出了一种六角形搜索算法(HS)(如图3所示),其所用的两个搜索模式分别在图3中标为①,②.搜索时,若DS基本搜索没有找到最优值,则扩大菱形半径搜索,当半径扩大到一定范围,还没有找到最优值时,则以当前MAD值最小的点(亚最优值)为中心,进行新一轮菱形搜索,本轮搜索半径呈2倍扩大;HS法则以MAD值最小的点为中心继续进行六角形搜索,当MAD值最小点位于六角形中心时,再进行小菱形搜索,以确定最优值,如此重复,直到搜索完整个窗口.

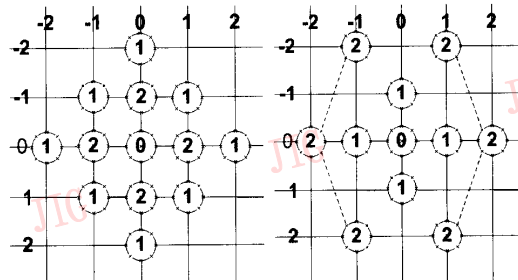


图2 DS算法基本搜索点示意图

图3 HS算法基本搜索点示意图

2.2 准菱形搜索

本文提出一种改进的菱形搜索算法——准菱形搜索算法(PDS),其基本搜索点如图 4 所示,算法流程图见图 5.具体步骤如下:

(1) 搜索中心 o 点和图 4 中 4 个标为①的点,并计算 MAD 值,再与阈值相比较,若有小于阈值的点,则找到了匹配点,算法结束;否则,进入第 2 步.

(2) 以第 1 步中 MAD 值最小的点(亚最优)为中心(若有两点的 MAD 值相同,可任选一点),再搜索图 4 中呈菱形展布的标号为②的点,并计算 MAD 值,再与阈值相比较,若有小于阈值的点,则找到了匹配点,算法结束.此处,若菱形某一边上两点的 MAD 值较小,且相近(小于给定的灰度差),但大于阈值(追加搜索条件),则进入第 3 步;否则,进入第 4 步.

(3) 搜索以此两点为对角线的矩形上未被搜索的另一点,计算 MAD 值,并与阈值比较,如果小于阈值,即找到了最优点,则算法结束;否则,进入第 4 步.

(4) 以前面 MAD 值最小的点(亚最优)为中心(当满足追加搜索条件时,以追加搜索的点为中心)重复第 1 步.

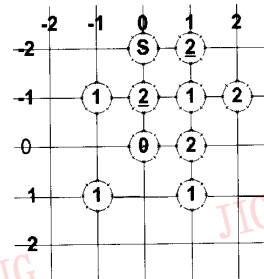


图 4 PDS 算法基本搜索点示意图

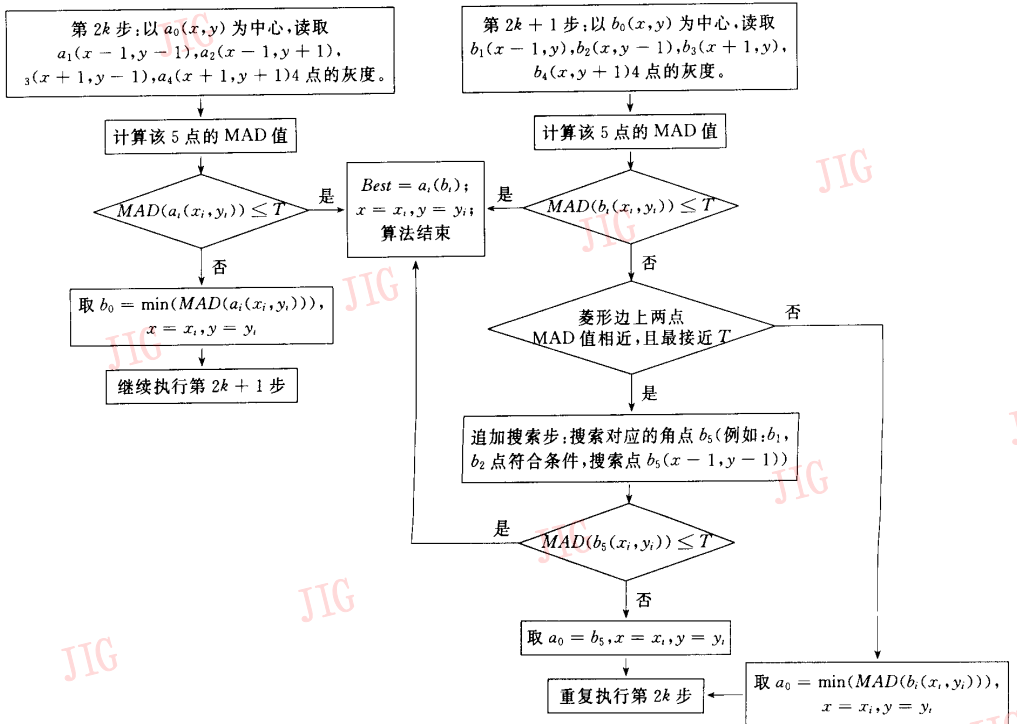


图 5 PDS 算法程序流程图

PDS 法没有 DS 法中的菱形半径的扩展,其奇数搜索模式最少搜索点数为 5 点,偶数搜索模式最少搜索点数为 9 点,若满足追加搜索条件,再多搜索一个点,即最少搜索点数为 10 点.图 4 中,假设第 1 次搜索到的亚最优点 $(-1,1)$ (加下划线的点①),第 2 次搜

索到的亚最优点 $(-1,0)$ 和 $(-2,1)$ (加下划线的点②)满足追加搜索条件,则再搜索点 $(-2,0)$,即 S 点.

2.3 几种方法讨论

首先从图形上对 3 种运动估计算法的效率进行比较.

(1) 微小运动情况 假设最优匹配点位于 $(-2, 1)$ 处(用 T 标识). 应用 PDS、DS、HS 搜索法进行运动估计的步骤如图 6(a)、图 6(b)、图 6(c) 所示(图中加下划线的点为该步搜索时, 找到的亚最优). 由图 6 可见, 用 PDS 法估计, 只经过 2 步运算, 搜索了 9 个点, 就找到了匹配点; 用 DS 法估计扩大半径搜索, 需 3 步运算, 搜索 25 个点, 才找到匹配点; 用 HS 法估计, 需 3 步运算, 搜索 14 个点, 才找到匹配点.

再考虑一种微小运动的情况, 假设最优点位于

$(-2, 0)$ 处(用 T 标识), 应用 PDS、DS、HS 搜索法进行运动估计的步骤如图 7(a)、图 7(b)、图 7(c) 所示. 其中, 用 PDS 法估计, 由统计学知识可知, 第 2 步时, 点 $(-1, 0)$ 和 $(-2, 1)$ 的 MAD 值很可能相同, 且最小, 若满足追加搜索条件, 则再搜索点 $(-2, 0)$, 通过 2 步, 即找到匹配点, 共搜索了 10 个点; DS 法也用了两步, 搜索了 13 个点; HS 法则是 3 步搜索 14 个点. 由以上两例可以看出, 对于微小运动情况下的运动估计, PDS 法优于 DS 法和 HS 法.

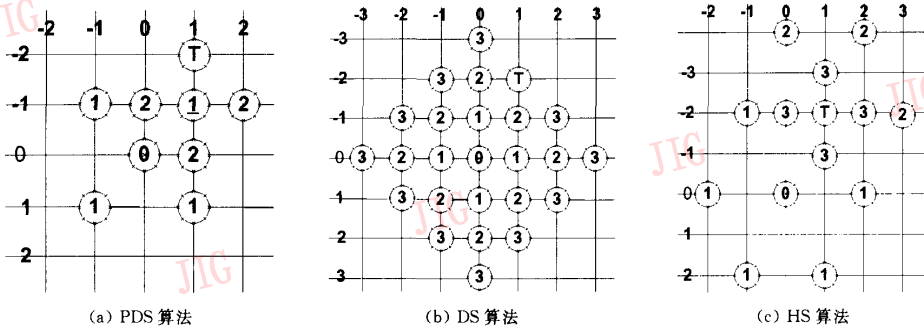


图 6 微小运动情况, 3 种算法基本搜索点示意图 1

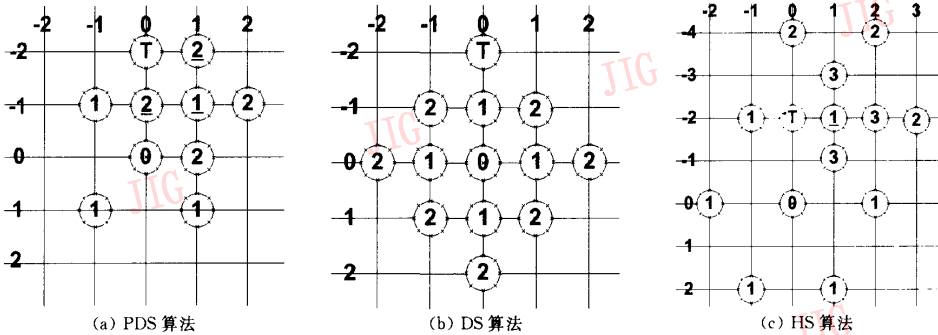


图 7 微小运动情况, 3 种算法基本搜索点示意图 2

(2) 较剧烈运动情况 假设最优匹配点位于 $(4, 6)$ 处(用 T 标识). 应用 PDS、DS、HS 搜索法进行运动估计的步骤如图 8(a)、图 8(b)、图 8(c) 所示. PDS 法用了 8 步, 搜索了 26 个点, HS 法用了 5 步, 搜索了 20 个点, 而 DS 法用了 8 步, 却搜索了 61 个点.

再考虑一种较剧烈运动的情况, 假设最优匹配点位于 $(-3, 0)$ (用 T 标识), 其应用 PDS、DS、HS 搜索法进行运动估计的步骤如图 9(a)、图 9(b)、图 9(c) 所示. PDS 法只搜索了 11 个点, HS 法搜索了 15 个点, DS 法共搜索了 41 个点, 且所搜索点的分布范围较大, 容易引起误差, 例如, 同样两个小物体运动, 其中一个物体的运动, 可能会被估计成另一个

物体的运动, 而引起估计错误. 由以上两例可见, 对于较剧烈的运动估计, PDS 法、HS 法的搜索点数相近, 且均优于 DS 法. 对于某些特殊点的搜索, PDS 法更具优越性.

(3) 剧烈运动情况. 此时, 几种搜索算法都可以通过扩大基本搜索半径来减少对近距离点的冗余估计, 表现情况与上述两种情况相仿, 在此省略.

下面再从统计和拓扑学角度来对几种算法进行分析. 由拓扑学理论来看, DS 法只考虑了 4 连通的点, 而忽略了 8 连通的点; 扩大菱形半径的搜索方法, 虽然保证了搜索窗中心点附近全被搜索, 但由于没有考虑点之间的关联(尤其是 8 连通), 从而把无

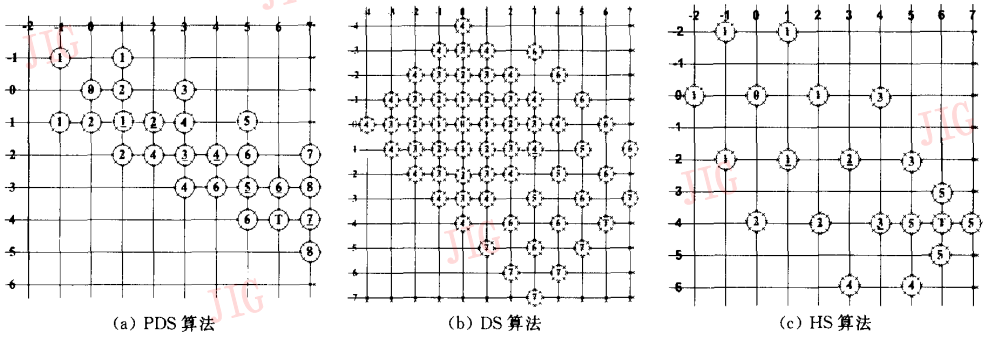


图 8 较剧烈运动情况,3种算法基本搜索点示意图 1

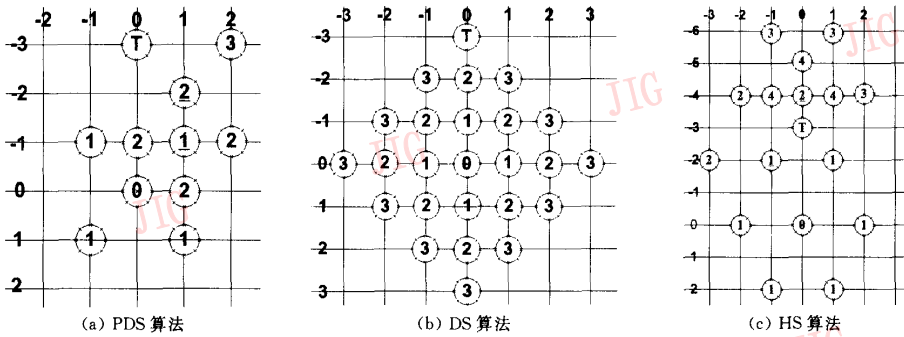


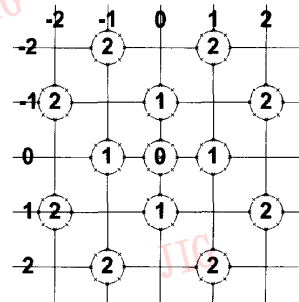
图 9 较剧烈运动情况,3种算法基本搜索点示意图 2

关键点也搜索了. HS 法的搜索模式近似于圆周分布,其虽综合了 4、8 连通关系,但是由于六角形的点分布过稀,因此对于某些情况会导致冗余,甚至错误(见图 7,图 9). PDS 法通过有方向地选择搜索点来扩大搜索范围(例如,追加的搜索条件就充分考虑了物体 45° 方向的运动),由于其搜索点之间联系紧密,搜索精度高(不需要像 HS 法那样,再用小菱形矫正),因而不仅实现了搜索区域的有效扩大,而且剔除了不必要搜索的点. PDS 法扩大搜索范围虽然较慢,但由于每步新增搜索点数少(2、3 个),因此计算效率仍然很高. 应用拓扑学知识可以得到 3 种搜索算法基本步骤所达到的区域范围. DS 法所能达到的 D_4 、 D_8 距离都为 2; HS 法的 D_4 距离为 4, D_8 距离都为 3; PDS 法的 D_4 距离为 3, D_8 距离为 2. D_4 、 D_8 距离定义如下

$$D_4(a,b) = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}$$

$$D_8(a,b) = \max(|x_a - x_b|, |y_a - y_b|)$$

实际上, PDS 法还有另一种变体(如图 10 所示,图中标出了两步搜索后所有可能搜索到的点),即先搜索 4 邻域点,再搜索 8 邻域点. 该种搜索算法在考虑像素关联性的基础上,搜索点的分布更加开



10 变体 PDS 算法基本搜索点示意

阔. 限于篇幅,本文没有详述.

3 实验结果

为了比较各种搜索算法的性能,采用斜向运动为主的 Dr. Aki 序列(352×288)(其中几帧如图 11 所示)和有一定剧烈运动的 Football 序列,对 3 种搜索算法进行了平均每点均方差及需要搜索点数的比较实验(结果见表 1、表 2),同时给出了全搜索(FS)法的上述数据. 对于 Football 序列, PDS 法用两个阈值($T_1=2$ 和 $T_2=4$)进行计算. 同时,追加搜



图 11 Dr Aki 序列示例

索条件为 $P_1 - P_2 \leq 2$ 个灰度级. 由表 1、表 2 可以看出, PDS 法和 HS 法比 DS 法搜索点数减少很多, 不仅搜索速度较快, 而且, 对于微小运动较多的情况, PDS 法比 HS 法的精度更高, 优势更明显.

表 1 Dr Aki 序列搜索算法效果比较

性能参数	算 法			
	FS	DS	HS	PDS
平均单个运动矢量 所用搜索点数	255	11.05	8.25	9.55
平均每点均方误差	150.54	165.32	168.80	163.90

表 2 Football 序列搜索算法效果比较

性能参数	算 法				
	FS	DS ($T=2$)	HS ($T=2$)	PDS ($T_1=2$)	PDS ($T_2=4$)
平均单个运动矢量 所用搜索点数	255	14.01	11.00	11.58	8.78
平均每点均方误差	182.80	187.34	190.90	187.25	193.81

4 结束语

本文提出了一种准菱形搜索算法, 同时从理论和实验的角度对其进行了分析, 还证明了该方法的搜索模式比六角形搜索和菱形搜索更实用. 由于这种搜索模式充分考虑了细节和像素之间的相关性, 因此在边缘检测(如计算 8 个方向上的灰度梯度)等其他图象处理领域也有一定的应用价值. 实践证明, 在低码率序列图象传输中, 由于结合小波变换等其他数学工具, 基于本文搜索模式的运动估计方法在精度和运算复杂性方面比其他方法具有一定的优越性, 因此结合小波变换的运动估计也是目前这一领域的研究热点之一.

参 考 文 献

- 1 MPEG-4 Applications Document [S]. Doc. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, N2322, Dublin, Ireland, 1998.
- 2 Li R, Zeng B, Liou M L. A new three-step search algorithm for fast block motion estimation [J]. IEEE Trans. Circuit Syst Video Tech., 1994, 4: 438~442.
- 3 洪波, 庄建敏, 余松煜. 基于时空相关性的自适应运动估计方法 [J]. 计算机工程, 2000, 8: 50~53.
- 4 洪波, 余松煜. 基于对象的菱形搜索运动估计方法 [J]. 数据采集与处理, 2001, 16(1): 110~116.
- 5 Zhu S, Ma K K. A new diamond search algorithm for fast block matching motion estimation [J]. Proc. of Int. Conf. Information, Communication and Processing, 1997, 1(3): 292~296.
- 6 Wu Chao. An Efficient block matching motion estimation algorithm for video coding [A]. In: ICICS-2001 [C], Singapore.
- 7 Hung Jean son, Hung Shung-wong, Wang Jun-hua. A novel cellular search algorithm for block-matching motion estimation [J]. IEEE Trans. IP, 2001, 1(2): 629~633.
- 8 Zhu Ce, Lin Xiao. A novel hexagon-based search algorithm for fast block motion estimation [A]. In: IEEE ICA SSP'01 [C], Singapore, 2001: 1593~1596.



龚涛 1977 年生, 天津大学电子信息工程学院信号与信息处理专业 2000 级硕士研究生. 研究方向为边缘提取、图象预测.



丁润涛 1938 年生, 教授, 博士生导师, 现任中国电子学会会士, 信号处理分会委员. 主要从事信号与信息处理方面研究.