

基于同步脉冲光源的抗环境红外 FTIR 多点触摸算法

李江晨,徐小维,韩君佩,胡 昱,邹雪城

(华中科技大学 光学与电子信息学院,湖北 武汉 430074)

摘 要: 多点触摸技术已应用在生活的诸多方面,带来了人机交互上的巨大便利。在多种新型的基于视觉的多点触摸技术中 FTIR 技术是极具潜力的优势技术,但是该技术会受环境红外噪声干扰,不能有效识别日光环境下的手指触点信号。针对环境红外噪声干扰的问题,提出了一种基于同步脉冲光源的相邻帧差算法(SPLA)使得 FTIR 技术具有良好的抗环境红外噪声的特点,可在日光环境中有效识别手指触点。同时还构建了嵌入同步脉冲光源的多点触摸硬件平台,实现了 SPLA 算法,并进行了大量的触摸实验。实验结果表明,相比于传统的背景差算法,SPLA 算法的触点对比度提高了将近 3.5 倍,可以准确地识别出触摸点。鉴于硬件实现的通用性,SPLA 算法还可应用到其他多点触摸平台,具有较强的可移植性。

关键词: FTIR; 同步脉冲光源; 相邻帧差

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)06-1415-06

Synchronized pulsed LED algorithm for ambient infrared noise minimization in FTIR-based multi-touch systems

Li Jiangchen, Xu Xiaowei, Han Junpei, Hu Yu, Zou Xuecheng

(School of Optical and Electronic Information, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The multi-touch technology has been widely used in various aspects of the every-day life, and has brought tremendous convenience during the process of the human-computer interaction. Among many new vision-based implementation methods for the multi-touch function, the frustrated total internal reflection (FTIR) method is one of the most promising one with unique advantages. However, the FTIR-based multi-touch implementation is sensitive to the ambient infrared noise and it currently can only be used in the dark environment. In this paper, a synchronized pulsed LED algorithm was proposed, namely SPLA, which could effectively improve the sensitivity of the FTIR-based multi-touch implementation in the normal ambient lighting environment. Based on the SPLA, a FTIR-based multi-touch platform was implemented. The experimental results show that the proposed SPLA increases the contrast of the blobs (touch points) by 3.5 times compared with the conventional methods. Because of similar hardware structure, the proposed SPLA can be also extended to minimize the ambient noise for other multi-touch implementation methods.

Key words: FTIR; synchronized pulsed LED; adjacent frame difference

收稿日期:2012-10-21; 修订日期:2012-11-17

基金项目:国家自然科学基金(61272070)

作者简介:李江晨(1989-),男,硕士生,主要从事自然人机交互、光学触摸系统等方面的研究。Email:ljc_water@qq.com

导师简介:胡昱(1980-),男,教授,博士生导师,主要从事 VLSI 设计、人机交互等方面的研究。Email:bryanhhu@hust.edu.cn

0 引言

近年来,随着信息产业的迅猛发展,人机交互技术成为消费电子、工业控制等领域的关键技术之一。与此同时触摸技术,尤其是多点触摸(Multi-Touch)技术的出现使人机交互方式产生了革命性的变化,使人们体验到了更自然便利的交互方式,也成为人机交互领域中的研究热点^[1]。

目前小尺寸中的多点触摸技术已在手机、平板电脑等消费电子产品中得到广泛应用,流行的技术主要为投射电容触摸技术^[2]。但是在尺寸(≥ 30 英寸)的触控面板中,多点触摸技术还存在一些问题,如在传统红外技术和基于摄像头的光学技术中,存在触点识别不精确、不能进行物体识别等问题,因而应用受到限制。而新型的基于视觉(Vision-Based)的多项多点触摸技术不仅提高了多点识别的精度,也可以引入悬浮(Hover)、物体识别等功能^[3-4],但系统稳定性还需提升^[5]。

目前基于视觉的多点触摸实现技术有:受抑全内反射多点触摸技术(FTIR)^[6],背面散射光多点触摸技术(Rear-DI),散射光平面多点触摸技术(DSI),激光平面多点触摸技术(LLP)^[7]。以上几种基于视觉的多点触摸方案性能对比如表1所示^[8]。

表1 多点触摸技术特点对比

Tab.1 Technique comparison of multi-touch technology

Technical type	FTIR	DSI	Rear DI	LLP
Seal box	No	Required	Required	No
Slim	Possible	Possible	Impossible	Possible
Material of surface	Acrylic	Plexiglass enlighten	Any	Any
Blob-occlusion	No	No	No	Yes
Blob-contrast	High	Lowest	Low	High
Pressure sensation	High	Low	No	No

由上表1可知,FTIR 多点触摸技术无需密闭封装,可进一步轻薄化;触点对比度(blob contrast)及压力感应(pressure sensation)均比较高,且无物体相互阻挡(occlusion)问题,是一项具有巨大潜力的触摸解

决方案。

与 DI、DSI 技术相比,尽管 FTIR 技术所受环境红外噪声干扰更小,稳定性更高,但是 FTIR 技术仍然存在环境红外噪声干扰大的问题,即在白天环境中存在大量环境红外噪声,其强度与红外 LED 的红外光相当,导致手指触点对比度低,无法被识别^[5]。因此,需要一种抗环境红外噪声的技术,提高手指触点在环境红外噪声大(如室内照明、强烈日光)的情况下的对比度,使手指触点被正常地识别,增强 FTIR 技术对环境光的稳定性。

为了提高触点对比度,通用的方法为降低光路损耗,减小环境红外噪声等。具体包括:(1)对亚克力边沿进行抛光,增加光源入射光线的数量^[6];(2)仿真出合适的亚克力边沿的倒角角度,并对其倒角;(3)在比较暗的环境中操作,减小环境红外噪声^[5]。但这些方法都无法从根本上实现在自然环境光下正常使用 FTIR 触摸技术。为了进一步提高触点对比度,近年来有一些典型的去噪方法被提出。

参考文献[4]提出一种光源调制系统,具有区分不同手的触摸点及悬浮(Hover)状态的特性,提高了操作的精确性,但需在触摸桌正上方安装额外的红外光源,并对其进行控制,增加了复杂度。参考文献[9]提出了一种在相机曝光期间,采用高电压脉冲电源提高 LED 灯源亮度的方法。该方法中采用的 CCD 摄像头比较昂贵,增加了成本,同时高压电源增大了 LED 二极管热损坏的可能性。参考文献[10]提出了一种在现有的 FTIR 基础上通过增加 Rear-DI 方式的新光源增强触点反射光的方法。该方法引入了新的光源结构,并对其进行控制,提高了复杂度。参考文献[5]提出了一种通过实时追踪物体阴影(IR Shadow)提高触摸效率的方法。但由于环境红外光在一天的时间里变化比较大,物体阴影强度会不断变化,追踪效果不佳,稳定性不高。综上所述,目前还没有一种专门针对 FTIR 触摸技术的有效去噪算法。

为了最小化环境红外噪声干扰,文中提出了一种基于同步脉冲光源的相邻帧差算法,使得 FTIR 技术具有良好的抗环境红外噪声的特点,可在日光环境中有效识别手指触点。在此基础上,构建了嵌入同步脉冲光源的多点触摸硬件平台,并进行了大量的触摸实验。实验结果表明,相比于传统的背景差算法,SPLA 算法的触点对比度提高了将近 3.5 倍,触点与随

机噪声区分明显,可以准确地识别出多个触摸点。

1 FTIR 触点识别算法原理简介

1.1 FTIR 概述

FTIR 技术与其他几种技术相同的硬件结构是摄像头、红外光源以及显示屏幕等,除此之外,FTIR 技术还有受抑全反射层(常为亚克力)、隔板层(图中无标识)、兼容层(常为硅胶)、漫反射层(常由投影幕兼任)^[6]等结构,其结构如图 1 所示。

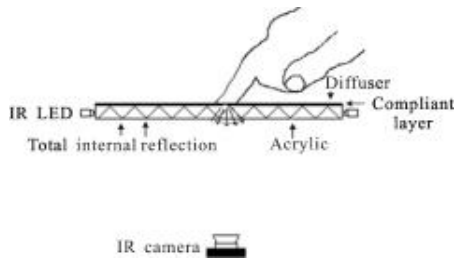


图 1 受抑全内反射多点触摸技术原理图

Fig.1 FTIR schematic diagram

由图 1 可知,FTIR 过程是当用户皮肤触摸亚克力表面时,触摸地方内部的全反射被破坏,原本在内部反射的红外线反/折射入亚克力面板下方的红外摄像头中,通过软件就可以侦测到触摸点^[6]。

1.2 传统背景差分算法

传统 FTIR 技术在触点识别方面采用了简单的图像处理及常用机器视觉方法。其中获得触点的关键一步是采用背景差分(background subtraction)方法,即捕捉一个静态的图像作为背景图,然后将其后所有帧减去背景图,对相减后图像的差值大小与阈值比较,若所得到的像素灰度值大于某一阈值,则判定此帧图像中有手指触点,再经过随机噪声滤除等步骤就可以获得触点信息了^[6]。算法如公式(1)所示。

$$d = A(x, y, i) - A_{\text{背景光}}(x, y)$$

$$AD(x, y, i) = \begin{cases} d, & d \geq T \\ 0, & d < T \end{cases} \quad (1)$$

式中: $AD(x, y, i)$ 为背景帧差图; $A_{\text{背景光}}(x, y)$ 是背景图; i 表示帧数($i=1, 2, \dots, N$), N 为序列总帧数; T 为阈值,其大于随机噪声。背景差分算法原理简单,实现容易;同时依据实际情况取背景和确定阈值,实时反映了手指触点的位置等信息。但是受背景光线影响很大,影响系统识别^[11-13]。

如图 2 所示,日光下环境光很强,手指触点与背景光相当,即 $A(x, y, i) = A_{\text{手指触点}}(x, y, i) \approx A_{\text{背景光}}(x, y)$,以至于帧差灰度值与随机噪声无法有效区分,此时不能识别出触点。

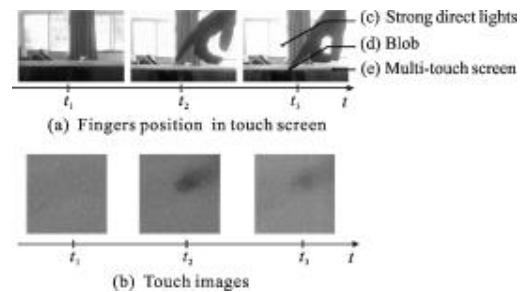


图 2 日光下触摸操作时

Fig.2 Three touch operation during strong direct lights

实验中,摄像头获取了如图 2(a)所示触摸过程中环境照射(t_1)、手指悬空(t_2)及手指触摸(t_3)三种情况下的触摸图像(图 2(b)所示)。触摸图像中环境光、手指阴影及手指触点的平均灰度值分别为 126、95、138。因此,由于背景差分算法的缺陷,目前基于 FTIR 技术的多点触摸设备必须在比较黑暗的环境中运行^[6],此时环境红外噪声很小,触点对比度高,可以很好的识别触点。

2 基于同步脉冲光源的改进型相邻帧差法 (SPLA 算法)

文中采用了基于同步脉冲光源的改进型相邻帧差算法(SPLA)取代传统的背景差分算法。SPLA 算法原理为将相邻两帧图像相减,将相减后的图像差值与像素阈值比较,若所得的像素灰度值大于像素阈值,则需继续进行次数阈值判断,否则输出为 0;进一步累计超过像素阈值的图像帧次数,若大于次数阈值,则判定图像帧中包含触点信息,输出帧差图像帧,再经过随机噪声滤除等步骤就可以获得触点信息了。算法如公式(2)所示。

Input: $A(x, y, i), A(x, y, i-1), n$

Output: $AD(x, y, i)$

1. $n=0, AD(x, y, i)=0$

2. for($i=1, i < N, i++$)

{ $d = |A(x, y, i) - A(x, y, i-1)|$;

if($d \geq T$) $n++$; else $AD(x, y, i)=0$;

$$\begin{aligned} & \text{if}(n=\lambda) \\ & \{AD(x,y,i)=d;n=0;\} \\ & \text{else } AD(x,y,i)=0;\} \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $AD(x,y,i)$ 为相邻帧差图; $A(x,y,i)$ 为后一帧图像; $A(x,y,i-1)$ 为相邻的前一帧图像; n 为图像差值超过阈值的图像帧次数; i 表示帧数 ($i=1,2,\dots,N$); N 为序列总帧数; T 为像素灰度值阈值; λ 为图像帧次数阈值。过程是手指触摸屏幕时,相邻两帧 $A(x,y,i)$ 、 $A(x,y,i-1)$ 相减取绝对值,超过阈值 T 时,触点事件发生一次;当触点事件连续发生次数 n 等于阈值 λ 时,输出带有触点信息的相邻帧差图。

SPLA 算法基于同步脉冲光源,即 LED 红外光源的供电方式为脉冲式(PWM 脉冲),且与摄像头图像帧同步。由于摄像头与脉冲 LED 光源之间的硬件同步方式,在触摸时,SPLA 算法中相邻两帧中必有一帧为手指触点的图像,另一帧为手指阴影的图像。即在对触摸点的识别中,引入了手指阴影 $A(x,y,i-1)$ ($=A_{\text{手指阴影}}$),无背景光 $A(x,y)$ ($=A_{\text{背景光}}$),SPLA 算法中 $|A(x,y,i)-A(x,y,i-1)| \geq T$ 等价于 $|A(x,y,i)-A_{\text{手指阴影}}(x,y,i-1)| \geq T$,消除了易受环境光影响的缺点,可以在光强较强的日光环境下使用。同时环境光越强, $A_{\text{手指阴影}}(x,y,i-1)$ 就越小,差值就越大,也就更利于触点识别。

3 基于 SPLA 算法的 FTIR 系统实现方案

为了验证 SPLA 算法而搭建的 FTIR 系统的具体实现方案,系统中通过硬件同步电路使摄像头与脉冲 LED 光源同步实现同步脉冲光源,同时上位机采用 SPLA 算法对图像进行预处理。

3.1 同步脉冲光源硬件结构

上文描述的新 FTIR 系统中的同步脉冲光源硬件结构原理及电路图如图 3 所示。

由图 3 可知,同步脉冲光源作用是使得红外 LED 的脉冲控制时序与红外摄像头的图像帧时序同步,其硬件电路主要由微控制器及 LED 电源控制模块组成。摄像头的帧同步信号(VSYNC)输入到微控制器中,微控制器的输出口连接到 LED 电源控制模块,LED 电源控制模块控制开关电源输出开关脉冲。微控制器检测 VSYNC 下降沿并输出特定的电平信号,控制 LED 电源的开断,此时红外 LED 灯被脉冲

电源控制。其红外 LED 控制时序与图像帧同步信号(image frame VSYNC)时序关系如图 4 所示。

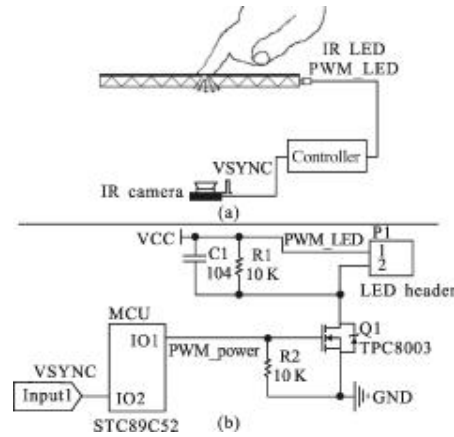


图 3 同步方案和硬件同步电路图

Fig.3 Synchronous schematic diagram and circuit schematic diagram

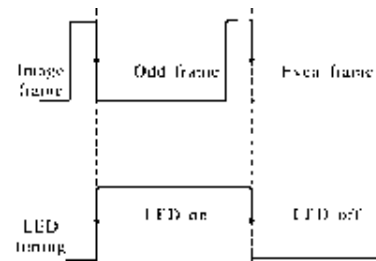


图 4 LED 开关与 Frame 时序关系

Fig.4 Circuit timing diagram between image frame and LED switch

由图 4 可知,帧数为奇数时,LED 电源开,LED 为高电平;帧数为偶数时,LED 电源关,LED 为低电平。则当手指触摸时,相邻的两帧图像中必有一帧为手指阴影(LED 电源关闭后形成的不带触点的手指阴影图)和手指触点(电源开启时有触点的手指触点图),如此,SPLA 算法中就引入了手指阴影,去除了背景光。

3.2 上位机软件算法

目前广泛应用于多点触摸中的触点追踪软件为开源软件 Community core vision(CCV),其关键部分使用了传统背景差法,在白天时 CCV 无法识别 FTIR 系统的触点。此时需采用 SPLA 算法对图像进行预处理后,再 CCV 做后期的追踪、随机噪声消除等步骤来处理图像输出触点信息。实验应用基于 OpenCV^[14]的软件对图像进行预处理,其处理流程如图 5 所示。

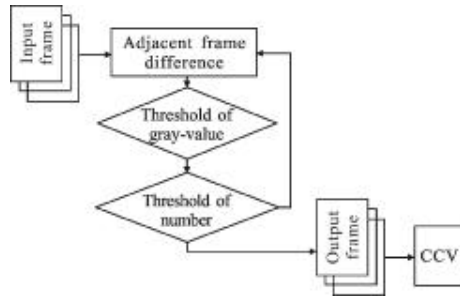


图 5 软件处理流程
Fig.5 Software processing flow

3.3 测试环境

整个触摸测试实验是在下午正常光照的房间里进行的,阳光自然照射,门窗没有关闭。摄像头为 PS3 eye,帧率是 30 fps,MCU 为 STC89C52,开关管为 TPC8003,红外二极管中心波长为 850 nm,由基于 OpenCV 的上位机软件捕获视频并进行预处理。

4 实验结果及分析

4.1 实验结果

采用如上所述的硬件同步设备后,分别对单手触摸和双手触摸情况进行测试,并计算触点的灰度值和对图像进行预处理。

单手触摸和双手触摸的背景图、手指阴影、手指触点及不同算法结果分别如图 6、图 7 所示,各图像平均灰度值对比总表如表 2 所示。

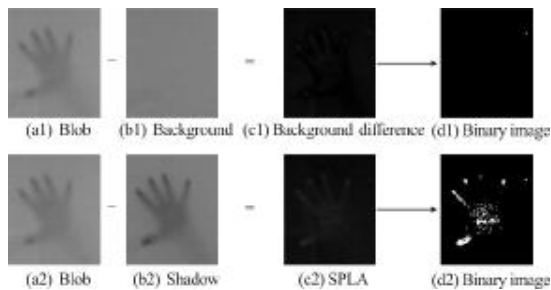


图 6 采用不同算法时的单手处理图

Fig.6 Algorithm comparison during handling one hand

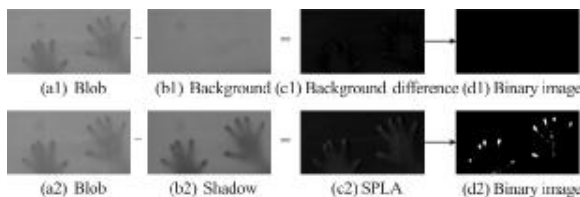


图 7 采用不同算法时的双手处理图

Fig.7 Algorithm comparison during handling two hands

表 2 灰度值比较

Tab.2 Gray value comparison

Item	Background	Shadow	Blob	Random noise	Background difference	SPLA
One hand	126	95	138	12	12	43
Two hands	124	97	135	12	11	38

随机噪声为摄像头固定噪声,拍摄全黑图像并计算图像的平均灰度值,得到随机噪声的平均灰度值为 12。由上表可知,单手触摸及双手触摸时,采用传统背景差算法处理后的手指平均灰度值与随机噪声处于同一数量级,而采用 SPLA 算法处理后的手指平均灰度值为传统背景差的 3.5 倍和 3.4 倍,已经很好的和随机噪声区别开来。

进一步的,对两种算法处理后的图像采用相同且大于随机噪声的阈值进行二值化处理,可明显观察到 SPLA 算法处理后图像中的触点,而传统背景差法无触点。

综上所述,在基于同步脉冲 LED 光源的硬件下,引入了手指阴影,使得触摸图像在经过 SPLA 算法处理后,图像中的触点平均灰度值提高了近 3.5 倍,触点的平均灰度值明显区别于随机噪声,使得触点可以被良好地识别。系统实物如图 8 所示。

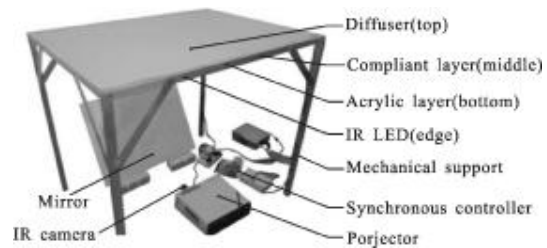


图 8 系统实物图

Fig. 8 System photo show

4.2 分析讨论

对于其他的几种基于视觉的多点触摸技术而言,鉴于硬件实现基本相同(见 1.1 节),仍可以采用同步脉冲光源,结合 SPLA 算法,提升触摸平台的抗环境红外噪声的性能,使其他多点触摸平台适用于各种照明环境中。

同时在 SPLA 算法中对相邻两帧图像求差时,由 $d=|A(x,y,i)-A(x,y,i-1)|$ 可知为两幅图像矩阵中处于同一位置像素点的灰度值求差,即第 i 帧中第 x 行第 y 列的点与第 $i-1$ 帧中第 x 行第 y 列的点求差

(见第2节)。所以 SPLA 算法对两帧图像中手指触点与手指阴影的相对位置较为敏感,相邻两帧手指触点与手指阴影重叠度越好,触点边缘越完整。

具体而言,对快速移动的手指,需要选择较小的帧间时间间隔;如果帧间时间间隔较大,此时会有前后相邻两帧图像中的手指阴影与手指触点之间有很小的不完全重叠的现象,导致触点边缘有很小的检测不完整情况。

在实践中,利用 SPLA 算法实现的多点触摸能够较好的解决上述问题。一般来讲,以常见帧率为 30 fps 的摄像头为例,帧间时间间隔约为 33 ms,一个人的手指在这段时间里移动的距离非常有限,此时通过 SPLA 算法得到的手指触点边缘误差小,触点形状信息近似可认为很完整。此外,在实际环境中,即使一个人的手指速度略微快一些,仍然可以通过选择帧率较高的摄像头进行采样(如常见的有帧率为 60 fps 的采样摄像头),帧间时间间隔减小一半,手指移动距离也下降一半,更加微小,此时算法得到的手指触点边缘更加完整。

因此,在触摸操作时一个人的手指在这段时间里移动的距离非常有限的情况下,使用普通摄像头或者较高帧率的摄像头下,SPLA 算法均可以得到很好的手指触点信息。作为下一步工作的重点之一,笔者将采用高速摄像头对快速移动的手指进行捕捉,进一步验证和提高 SPLA 算法的效果。

5 结论

为了最小化环境红外噪声干扰,文中提出了一种基于同步脉冲光源的相邻帧差算法(SPLA),并构建了嵌入同步脉冲光源的多点触摸硬件平台,结果是经过 SPLA 算法处理的图像中的触点平均灰度值提高了近 3.5 倍,与随机噪声明显相区分,使得新 FTIR 触摸平台具有良好的抗环境红外噪声的特点。

进一步的,SPLA 算法对相邻帧的时间差敏感,可继续研究 SPLA 算法对快速运动手指触点的识别情况;同时鉴于几种多点触摸技术在硬件实现的通用性,使得 SPLA 算法具有良好的可扩展性,将 SPLA 算法应用在其他几种多点触摸技术中也会提高其抗红外噪声的性能。

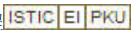
参考文献

[1] Buxton B. Multi-Touch Systems that I have known and loved

[OL]. www.billbuxton.com/multitouchOverview.html, 2012-8-15.

- [2] Wang D X, Zhang M J, Xiong Z H, et al. Survey on multi-touch research[J]. *Application Research of Computers*, 2009 (7): 2404-2406.
- [3] Walker G. *Fundamentals of touch technologies and applications* [R]. San Francisco Marriott Marquis: Walker Mobile, LLC, 2012, 3.
- [4] Echtler F, Huber M, Klinker G, et al. Hand tracking for enhanced gesture recognition on interactive multi-touch surfaces[R]. München: Technische Universität München, 2007.
- [5] Iacolina S A, Soro A, Scateni R, et al. Improving ftir based multi-touch sensors with IR shadow tracking [C]//The ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems, 2010.
- [6] Han J. Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection [C]//UIST'05: Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, 2005: 115-118.
- [7] Park J H, Han T. LLP+: multi-touch sensing using cross plane infrared laser light for interactive based displays[C]// *Acm Siggraph*, 2010: 89.
- [8] NUI Group Authors. Multi-touch technologies [OL]. <http://nuicode.com/projects/wiki-book>, 2009, 6-25.
- [9] Echtler F, Sielhorst T, Huber M, et al. A Short Guide to Modulated Light [C]//Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction, 2009: 393-396.
- [10] Holzammer A. Combining diffuse illumination and frustrated total internal reflection for touch detection [D]. Beilín: Technology University of Berlin, 2009.
- [11] Li Gang, Qiu Shangbin, Lin Ling, et al. New moving target detection method based on background differencing and cotermious frames differencing [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2006, 27(8): 961-964. (in Chinese)
- [12] Fan Hongshen, Ni Guoqiang, Wang Shaobo, et al. Near field anti-ship missile detection based on image difference, wavelet and regression[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2004, 33(6): 587-591. (in Chinese)
- [13] Qu Youshan, Tian Weijian, Li Yingcai, et al. Moving point targets detection based on the infinite norm of the discontinuous frame difference vector[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, 32(2): 157-162. (in Chinese)
- [14] Bradski G, Kaehler A, et al. 学习 OpenCV(中文版)[M]. 于仕琪等译. 北京: 清华大学出版社, 2009(1): 325-328.

基于同步脉冲光源的抗环境红外FTIR多点触摸算法

作者: [李江晨](#), [徐小维](#), [韩君佩](#), [胡昱](#), [邹雪城](#), [Li Jiangchen](#), [Xu Xiaowei](#), [Han Junpei](#), [Hu Yu](#),
[Zou Xuecheng](#)
作者单位: [华中科技大学 光学与电子信息学院, 湖北 武汉, 430074](#)
刊名: [红外与激光工程](#) 
英文刊名: [Infrared and Laser Engineering](#)
年, 卷(期): 2013(6)

参考文献(14条)

1. [Buxton B Multi-Touch Systems that I have known and loved](#) 2012
2. [Wang D X;Zhang M J;Xiong Z H Survey on multi-touch research](#)[期刊论文]-[Application Research of Computers](#) 2009(07)
3. [Walker G Fundamentals of touch technologies and applications](#) 2012
4. [Echtler F;Huber M;Klinker G Hand tracking for enhanced gesture recognition on interactive multi-touch surfaces](#) 2007
5. [Iacolina S A;Soro A;Scateni R Improving ftir based multi-touch sensors with IR shadow tracking](#) 2010
6. [Han J Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection](#) 2005
7. [Park J H;Han T LLP+: multi-touch sensing using cross plane infrared laser light for interactive based displays](#) 2010
8. [NUI Group Authors Multi-touch technologies](#) 2009
9. [Echtler F;Sielhorst T;Huber M A Short Guide to Modulated Light](#) 2009
10. [Holzammer A Combining diffuse illumination and frustrated total internal reflection for touch detection](#) 2009
11. [Li Gang;Qiu Shangbin;Lin Ling New moving target detection method based on background differencing and coterminous frames differencing](#)[期刊论文]-[Chinese Journal of Scientific Instrument](#) 2006(08)
12. [Fan Hongshen;Ni Guoqiang;Wang Shaobo Near field anti-ship missile detection based on image difference,wavelet and regression](#)[期刊论文]-[Infrared and Laser Engineering](#) 2004(06)
13. [Qu Youshan;Tian Weijian;Li Yingcai Moving point targets detection based on the infinite norm of the discontinuous frame difference vector](#)[期刊论文]-[Infrared and Laser Engineering](#) 2003(02)
14. [Bradski G;Kaehler A;于仕琪 等 学习OpenCV\(中文版\)](#) 2009

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_hwyjggc201306005.aspx