

doi:10.3788/gzxb20134211.1355

印制电路板线路检测研究

乔闹生¹, 孙萍²

(1 湖南文理学院 物理与电子科学学院, 湖南 常德 415000)

(2 四川农业大学 生命科学与理学院, 四川 雅安 625014)

摘要:为了更好地进行印制电路板线路检测,提出了一种有效的检测方法.首先分析了基于直方图势函数模型的图像预处理基本原理,运用该原理对印制电路板光电图像进行预处理,得到初步去模糊去噪音后边缘图像.然后提出了一种改进 Hough 变换直线检测方法,由该方法可确定图像中存在直线的大致位置,从而初步提取候选区域内的特征点集.接着讨论了最小二乘法直线检测基本原理,应用最小二乘法对经过改进 Hough 变换初步检测出来的直线进行拟合,得到精确的直线参量,加上模式聚类方法得到最后的直线.最后对实际获取的模糊且含噪音印制电路板光电图像应用所提方法进行检测实验.结果表明,本文的方法能够更好地体现出印制电路板线路的检测.

关键词:印制电路板线路检测;直线检测;印制电路板光电图像;改进 Hough 变换;最小二乘法;势函数模型

中图分类号:O439

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2013)11-1355-5

Circuitry Detection in Printed Circuit Board

QIAO Nao-sheng¹, SUN Ping²

(1 College of Physics and Electronics Science, Hunan University of Arts and Science, Changde, Hunan 415000, China)

(2 Life and Physical Science College, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

Abstract: In order to carry out printed circuit board (PCB) circuitry detection better, an effective detection method was proposed. Firstly, the basic principle of image preprocessing based on histogram potential function model was analyzed; such principle was applied to PCB photoelectric image preprocessing, and the primary edge images after removing dark and noise were obtained. Secondly, a line detection method based on improved Hough transform was proposed, the approximate location of line existed in image was ascertained by such method, and the characteristic point sets in the candidate areas were obtained roughly. Then, the basic principle of line detection by using least square method was discussed, the accurate line parameters were acquired by applying least square method to fit these lines detected by the improved Hough transform, and the eventual edge lines were obtained by adding pattern clustering. Finally, the edge detection experiment was carried out by the method in the dark and noisy PCB photoelectric image acquired actually. The results show that the proposed method can better incarnate the PCB circuitry detection.

Key words: PCB circuitry detection; Line detection; PCB photoelectric image; Improved Hough transform; Least square method; Potential function model

基金项目:国家自然科学基金(Nos. 61144006, 11247299)、湖南省教育厅科学研究重点项目(No. 13A062)、湖南省“十一五”重点建设学科-光学和光电信息集成与光学制造技术湖南省重点实验室资助

第一作者:乔闹生(1971-),男,副教授,博士,主要研究方向为光电图像信息检测. Email:naoshengqiao@163.com

收稿日期:2013-06-26; **录用日期:**2013-09-03

0 引言

印制电路板(Printed Circuit Board, PCB)线路检测在 PCB 生产过程中至关重要,而对 PCB 线路检测通常是通过 PCB 光电图像中的走线检测来实现的. PCB 光电图像中的走线是图像中过孔与焊盘的连接线,一般为直线,它是信号传输的通道.走线的好坏将直接影响到 PCB 甚至整个系统的性能.通过对 PCB 光电图像中的直线进行检测,可以得到走线的边缘信息,检测线宽、线距违例等瑕疵,从而完成 PCB 的走线检测^[1-2].

Hough 变换^[3-4]因其对噪音的不敏感性成为了直线检测的常用方法,但用该方法检测直线需要较多的运算时间与较大的存储空间,检测准确度不高.为此,一些学者提出了改进方法^[5-10].赵小川等从时频域变换和空间域变换两个角度出发,提出了一种改进型数字图像中直线快速检测方法^[5];Dahyot R 提出了利用边缘不确定性的统计 Hough 变换来检测直线边缘^[6];Guo S Y 等提出了利用邻域抑制投票加权法的改进 Hough 变换的直线检测法^[7];段汝娇等提出了基于聚类与随机 Hough 变换的直线检测方法^[8].

最小二乘法(Least Square Method, LSM)是拟合直线的有效检测方法,因其检测的高准确度而得到广泛应用^[11-14].Guan Hai-yan 等在工业产品三维识别与测量中运用 LSM 高准确度地检测出了产品图像的直线,但用 LSM 拟合直线时因对噪音敏感而易将噪音点误当作直线边缘点检测出来^[11];Deb K 等在车辆牌照自动识别中,用 LSM 拟合了牌照的垂直直线^[12];司永胜等提出了一种基于 LSM 的早期作物行中心线检测算法而较好地拟合了作物行中心线^[13].

由于 PCB 光电图像走线边缘模糊且含噪音的特殊情况,很难用单独的某一种方法精确地检测出 PCB 线路.本文根据 PCB 光电图像含有噪音、走线边缘模糊等缺陷的具体情况,提出一种改进 Hough 变换的直线检测算法,然后基于直方图势函数模型的图像预处理,结合改进 Hough 变换与 LSM 各自直线检测的优点来检测 PCB 光电图像中走线,得到了较好的 PCB 线路检测实验结果.

1 基本原理

1.1 基于直方图势函数模型的图像预处理

对于模糊且含噪音图像的检测,图像增强与去噪音是必不可少的步骤.采用文献^[15]的通过对图像直方图定义的势函数模型将源图像 $f_0(x, y)$ 分割

出大、小两个阈值,利用大阈值定位出目标,小阈值检测出边缘.然后用 Canny 算子提取 $f_0(x, y)$ 的边缘,得到含噪音边缘图像 $f_1(x, y)$.再对 $f_0(x, y)$ 进行二值化处理得到二值化图,选用合适大小的结构元对二值化图进行形态学膨胀、形态学腐蚀并取反分别得到图像 $f_2(x, y)$ 、 $f_3(x, y)$.最后对 $f_1(x, y)$ 、 $f_2(x, y)$ 、 $f_3(x, y)$ 进行逻辑与运算得到初步去模糊去噪音后边缘图像 $f(x, y)$.

1.2 改进 Hough 变换的直线检测

Hough 变换可用于将边缘像素连接起来得到边界曲线,其主要的优点在于受噪音和曲线间断的影响小.其实质就是将图像空间中的直线对应于参量空间中的点,它是检测直线的有效方法.当检测直线 l 时,它在极坐标系中的表达式为

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (\rho \geq 0, 0 \leq \theta < 2\pi) \quad (1)$$

式中 ρ 表示坐标原点距直线的法线距离, θ 表示 ρ 与 x 轴的夹角.

Hough 变换检测直线具有较好的去噪音与干扰点的性能,这对于检测含有噪音与模糊的 PCB 光电图像之类的走线来说,是较好的检测方法.但 Hough 变换的计算量大,且不能给出直线的起止点位置.为此本文提出一种改进的 Hough 变换.

在去模糊去噪音后边缘图像 $f(x, y)$ 中顺序搜索找到第一个非零点作为基准点 $J(x_0, y_0)$,顺序选择以 $J(x_0, y_0)$ 为起始点的子局域,在该子局域内顺序搜索其他非零点 $p_i(x_i, y_i)$,计算每个非零点与起始点组成的直线集为

$$\rho_i = x_i \cos \theta_i + y_i \sin \theta_i \quad (2)$$

式中 $\theta_i = \arctan \left(\frac{y_i - y_0}{x_i - x_0} \right)$.

找出区间 $(\rho + d\rho, \theta + d\theta)$ 中参数对的个数 n_i ,及对于参数个数最大值 n_{\max} 的参数区间,各个参数对应的直线均通过基准点 $J(x_0, y_0)$.

设定一个阈值 T_1 ,当 $n_{\max} < T_1$ 时则清除点 $J(x_0, y_0)$ 重新搜索;反之,将搜索范围扩大到 $J(x_0, y_0)$ 以外的部分,对检测到的每一个非零点 $v_i(x_i, y_i)$,取 $\theta_v = \theta_i$,若 $v_i(x_i, y_i)$ 构成的点集 $V(x_i, y_i)$ 在直线集 ρ_i 上,则式(3)成立

$$|\rho_i - \rho_v| \leq d\rho \quad (3)$$

此时在参量空间中对直线 ρ_i 的累加器加 1,直至检测完所有的点.统计参量空间中所有累加器中数值,给出一个峰值阈值 T_2 ,若数值大于 T_2 则认为直线存在,反之直线不存在.

1.3 最小二乘法拟合直线

设图像中边缘点构成的点集为 $V(x_i, y_i)$.点集 $V(x_i, y_i)$ 中的数据点分布在图像中的 r 条直线附

近,对于其中的第 k 条直线可表示为

$$\rho_k = x_i \cos \theta_k + y_i \sin \theta_k \quad (4)$$

式中 $k=1, 2, \dots, r$.

根据 LSM 原理,要求 $V(x_i, y_i) (i=1, 2, \dots, s, s$ 为点集中的点数)中所有点到初始直线的距离平方和 ϵ^2 最小,即

$$\epsilon^2 = \sum_{i=1}^s (x_i \cos \theta + y_i \sin \theta - \rho)^2 = \min \quad (5)$$

将式(5)中的 ϵ^2 对 ρ 求偏微分,并令其为零,可得

$$\rho = \bar{x} \cos \theta + \bar{y} \sin \theta \quad (6)$$

式中 \bar{x}, \bar{y} 为 $V(x_i, y_i)$ 的重心坐标点,大小分别为 $\bar{x} = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s x_i, \bar{y} = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s y_i$.

再将式(5)中的 ϵ^2 对 θ 求偏微分,并令其为零,联合重心坐标点可得

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \left[-\frac{\min(\delta_1, \delta_2)}{\max(\delta_1, \delta_2)} \right] \quad (7)$$

式中 $\delta_1 = \sum_{i=1}^s (y_i - x_i) - s(\bar{y} - \bar{x}), \delta_2 = 2(\sum_{i=1}^s (x_i y_i - k \bar{x} \bar{y}))$.

由式(6)、(7)可确定点集 $V(x_i, y_i)$ 中拟合的直线方程.同理可得到图像中其它点集中拟合的直线方程.

用最小二乘法可快速拟合直线,且具有较好的拟合准确度,但受图像中噪音和干扰点的影响较大.这对拟合含有噪音与模糊干扰点的 PCB 光电图像中直线不利,但在尽可能地去除 PCB 光电图像噪音与模糊干扰点后,再去拟合图像的直线边缘会有高的拟合准确度.

1.4 模糊且含噪音 PCB 光电图像的直线检测

针对模糊且含噪音 PCB 光电图像的具体情况,首先用基于直方图势函数模型的图像预处理方法对 PCB 光电图像进行平滑增强、去模糊、去噪、二值化

处理、形态学变化、逻辑与运算和边缘检测等一系列预处理,初步得到去模糊去噪后边缘图像.

然后用改进的 Hough 变换对去模糊去噪后边缘图像进行进一步检测,初步确定图像中存在直线的大致位置,提取候选区域内的特征点集.在区域 $(\rho + d\rho, \theta + d\theta)$ 中,确定直线大致位置的距离误差限 $d\omega$,给出一个误差阈值 dT ,若 $d\omega \leq dT$,则所检测到的点 $v_i(x_i, y_i)$ 在点集 $V(x_i, y_i)$ 内.

再用最小二乘法对经 Hough 变换初步检测出来的直线进行拟合,得到各个点集较精确的直线参量.

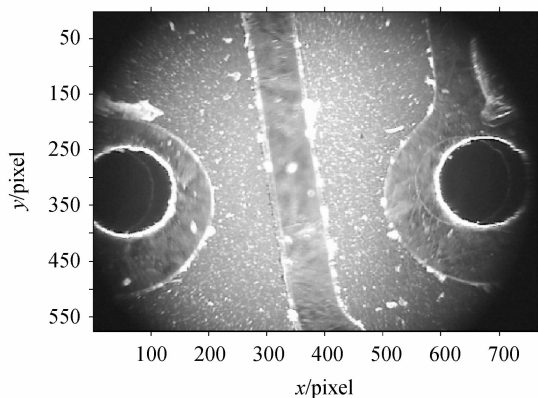
最后将经过上述检测后的边缘图像中具有一定关系的点进行聚类,根据简单模式聚类方法^[16-17],把符合要求的模式分到各类中而提取出尽可能真实的 PCB 光电图像走线,从而达到 PCB 线路检测目的.

2 实验结果

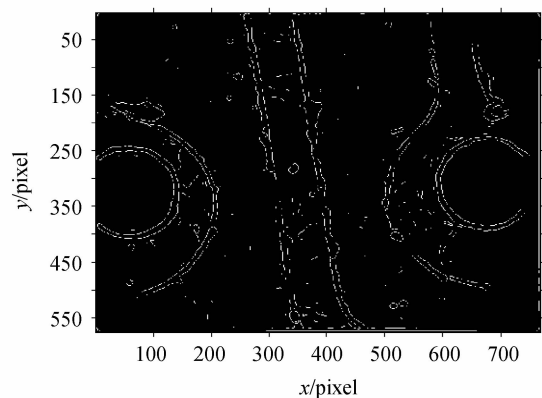
为了验证基本原理分析的正确性,现对两幅模糊且含噪音 PCB 光电图像走线进行检测,从而得到 PCB 线路检测结果.

第一幅模糊且含噪音 PCB 光电图像如图 1(a).用基于直方图势函数模型对图 1(a)进行预处理增强、去模糊、去噪等一系列预处理,初步得到去模糊去噪后边缘图像,如图 1(b).由图可见,PCB 线路情况以图像中走线形式表现出来了;对预处理后边缘图像中走线采用改进 Hough 变换进行直线检测,得到初步 PCB 光电图像走线如图 1(c),粗线部分是需要检测的 PCB 线路结果;用本文方法检测得到图像走线如图 1(d),粗线部分是需要检测的 PCB 线路结果.

第二幅模糊且含噪音 PCB 光电图像如图 2(a).图 2(b)~(d)分别为其相应处理结果.



(a) Original PCB image with dark and noisy



(b) Edge image after removing dark and noisy

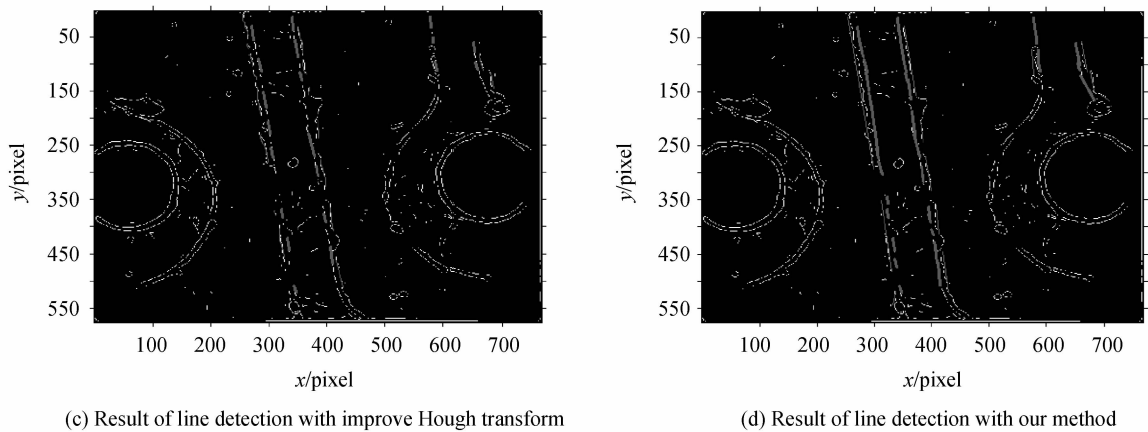


图1 第一幅模糊且含噪声 PCB 光电图像实验结果

Fig.1 Experimental results of the first dark and noisy PCB photoelectric image

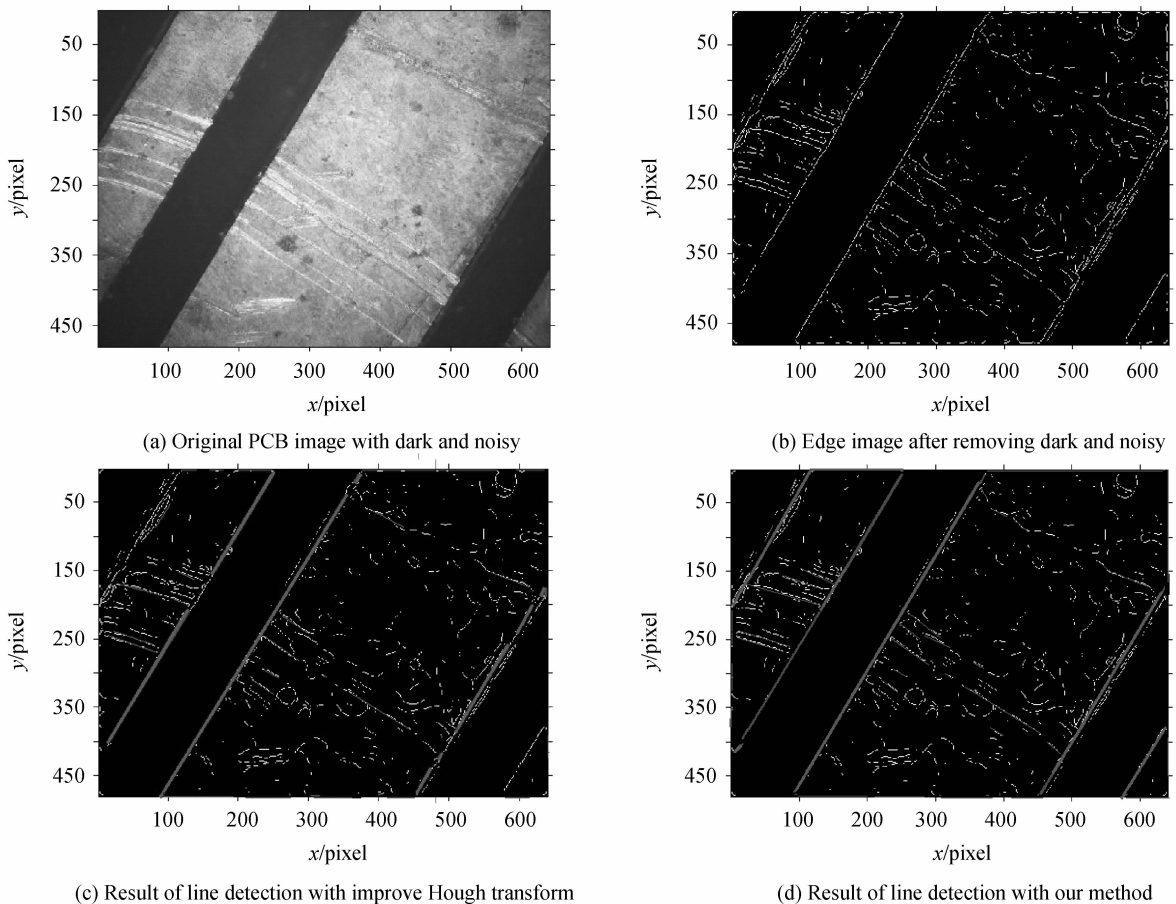


图2 第二幅模糊且含噪声 PCB 光电图像实验结果

Fig.2 Experimental results of the second dark and noisy PCB photoelectric image

从图1、图2可见:用基于直方图势函数模型对模糊且含噪音 PCB 光电图像预处理后,将改进 Hough 变换与最小二乘法相结合,辅以简单聚类分析^[16-17],能尽可能地提取 PCB 光电图像中走线,从而更好地检测出 PCB 线路。

3 结论

本文针对模糊且含噪音 PCB 光电图像中走线的检测,在对 PCB 光电图像应用基于直方图势函数

模型进行图像预处理后,结合改进 Hough 变换及最小二乘法各自优点,对实际获取的模糊且含噪音 PCB 光电图像中走线进行检测,取得了较好的实验结果。

参考文献

- [1] WANG C C, JIANG B C. PCB solder joint defects detection and classification using machine vision [J]. *International Journal of Industrial Engineering: Theory Applications and Practice*, 2001, 8(4): 359-369.
- [2] LI Zhi-min, LIN Yue-wei, HUANG Jun. Preprocess algorithm of PCB line detection [J]. *Optics and Precision*

- Engineering, 2007, **15**(2): 272-276.
李志敏, 林越伟, 黄俊, 等. PCB 走线检测的预处理算法. 光学精密工程, 2007, **15**(2): 272-276.
- [3] HOUGH V, PAUL C. Method and means for recognizing complex patterns; US, 3069654[P]. 1962.
- [4] GUO Jun, ZHANG Wan-yi, YAN Fei, *et al.* Detection of digital holographic interference fringes based on Hough transform[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(1): 116-120.
郭俊, 张婉怡, 严飞, 等. 基于 Hough 变换的数字全息干涉条纹检测[J]. 光子学报, 2011, **40**(1): 116-120.
- [5] ZHAO Xiao-chuan, LUO Qing-sheng, CHEN Shao-bo. Improved fast line detection method in images[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2010, **18**(7): 1654-1660.
赵小川, 罗庆生, 陈少波. 改进型图像中的直线快速检测[J]. 光学精密工程, 2010, **18**(7): 1654-1660.
- [6] DAHYOT R. Statistical hough transform [J]. *IEEE Transform on Pattern Analysis and Machine Interlligence*, 2009, **31**(8): 1502-1509.
- [7] GUO S Y, PRODMORE T, KONG Y G, *et al.* Improved Hough transform voting scheme utilizing surround suppression [J]. *Pattern Recognition Letter*, 2009, **30**(13): 1241-1252.
- [8] DUAN Ru-jiao, ZHAO Wei, HUANG Song-ling, *et al.* Fast line detection algorithm based on improved Hough transformation[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2010, **31**(12): 2774-2780.
段汝娇, 赵伟, 黄松岭, 等. 一种基于改进 Hough 变换的直线快速检测算法[J]. 仪器仪表学报, 2010, **31**(12): 2774-2780.
- [9] AGGARWAL N, KARL W C. Line detection in images through regularized Hough transform[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, **15**(3): 582-591.
- [10] GUO S Y, KONG Y G, TANG Q, *et al.* Probabilistic Hough transform for line detection utilizing surround suppression[C]. 2008 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Kunming, China, 2008: 2993-2998.
- [11] GUAN Hai-yan, ZHANG Jian-qing, HU Qi, *et al.* Line extraction of industrial parts based on least square template matching[C]. Congress on Image and Signal Processing, Washington, USA, 2008: 966-700.
- [12] DEB K, VAVILIN A, KIM J W, *et al.* Projection and least square fitting with perpendicular offsets based vehicle license plate tilt correction [C]. Proceedings of SICE Annual Conference, Ulsan, South Korea, 2010: 3291-3298.
- [13] SI Yong-sheng, JIANG Guo-quan, LIU Gang, *et al.* Early stage crop rows detection based on least square method[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, **41**(7): 163-167(+185).
司永胜, 姜国权, 刘刚, 等. 基于最小二乘法的早期作物行中心线检测方法[J]. 农业机械学报, 2010, **41**(7): 163-167(+185).
- [14] WANG Jin-jiang, WU Ming-yun, LIU Yang, *et al.* Phase unwrapping algorithm based on graph cuts [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(9): 1130-1134.
王晋疆, 吴明云, 刘阳, 等. 基于图切割的相位展开[J]. 光子学报, 2012, **41**(9): 1130-1134.
- [15] ZHANG Zhi-jia, HUANG Sha-bai, SHI Ze-lin. Improved multi-threshold image segmentation algorithm based on potential function clustering [J]. *Opto-electronic Engineering*, 2005, **32**(8): 64-68.
张志佳, 黄莎白, 史泽林. 一种改进的势函数聚类多阈值图像分割算法[J]. 光电工程, 2005, **32**(8): 64-68.
- [16] UKOVICH A, RAMPONI G. Feature extraction and clustering for the computer-aided reconstruction of strip-cut shredded documents[J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2008, **17**(1): 013008/1- 013008/13.
- [17] LI Xin-ye, YUAN Jin-sha, JING Yong-wen. An efficient user access pattern clustering algorithm[C]. Proceedings of the Sixth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Hong Kong, China, 2007: 4109-4112.