

基于预选算法的全局平移运动参数估计

席志红,初守艳,肖易寒

(哈尔滨工程大学 信息与通信工程学院,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 为了快速准确估计出视频序列中存在的全局平移抖动,分析影响全局运动估计精度的各种常见因素,归纳其特点,同时结合相关基础理论,以 C-1BT 变换为基础,提出一种基于预选算法的快速全局平移运动估计算法。首先,在估计局部运动矢量前,采用预选算法保留能很好代表全局运动性质的部分宏块。其次,根据预选块的特点改变传统自适应十字搜索法(Adaptive Rood Pattern Search, ARPS)的臂长预测部分,减少搜索陷入局部最优的风险。最后,采用平移运动模型得到最终参数。实验仿真结果证明提出方法的快速性和鲁棒性。

关键词: 全局运动估计; C-1BT 变换; 自适应十字搜索法; 局部最优

中图分类号: TN911.73 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)11-3144-06

Global translational motion parameters estimation based on pre-selection algorithm

Xi Zhihong, Chu Shouyan, Xiao Yihan

(College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: In order to estimate the camera's small amplitude translational dither motion, various mismatching factors were analyzed, such as self-moving objects, unstable edge details and smooth areas. After summarizing the characteristics of various factors and the existing related basic theories, and the same time on the basis of the improved C-1BT transformation, the fast global translational motion parameters estimation based on the pre-selection process algorithm were proposed. Firstly, before the local motion vector estimation, the pre-selection process was used to keep some special sub-blocks, because they can better represent the global motion nature. Secondly, according to the characteristic of the pre-selection algorithm, the initial arm-length predictive part of the traditional adaptive rood pattern search method was improved to reduce the risk of falling into local optimum. At last, the optimum global motion parameters were obtained, with the translational motion model and the statistical principles. MATLAB simulation results show that the proposed method fast and robustness.

Key words: global motion estimation; C-1BT transformation; adaptive rood pattern search; local optimum

收稿日期: 2013-03-06; 修订日期: 2013-04-05

基金项目: 国家自然科学基金(60875025/f030410); 中央高校基本科研业务费专项资金(HEUCF100818)

作者简介: 席志红(1965-), 女, 教授, 主要从事图像处理等方面的研究。Email: xizhihong@hrbeu.edu.cn

0 引言

全局运动一般是由摄像机的运动或参数变化引起的^[1-2],同时在整幅图像中占较大比例的像素运动^[3]。在电子稳像中,全局运动估计至关重要,因为它的性能影响后续运动滤波和运动补偿算法的效果。并且由于估计算法占据了整个稳像算法 60% 以上的运算时间,所以在保证精度的同时,人们把更多的目光放到了实时性上。在这种情况下,低比特率全局运动估计法引起了人们的关注,例如位平面法^[4],1BT^[5]法、C-1BT^[6]法和 MF-1BT^[7]法。其中的 C-1BT 算法性能尤其优秀。但是这些算法本身都没有考虑影响全局运动估计精度的不稳定区域,直接对图像的全部区域进行变换处理,所以有相当一部分时间花费在错误的计算上,降低了算法性能。

考虑到平移运动是电子稳像中一种常见的运动形式,且相邻两帧间的相似度较高,因此文中以相邻两帧间的平移运动作为研究对象。在分析现有基于 C-1BT 运动估计算法优缺点的基础上,提出一种快速全局平移运动估计法,该算法能在保持估计结果鲁棒性前提下,降低算法的计算负担。根据全局运动矢量一致性的特点,在构造模板图像之前,预先去掉局部运动区域,并利用前景物体的聚集性对选中区域进行优化,最终在保留的区域中选择具有丰富纹理的区域。经过上述预选过程,保留下来大部分鲁棒性较高的背景区域。搜索过程中,对传统的 ARPS 法进行改进,与提出的预选算法有益结合,降低陷入局部最优的风险并提高搜索速度;最后,采用平移运动模型和统计学原理得到最终的全局运动矢量。

1 基础理论

1.1 C-1BT 变换

C-1BT^[6-7]变换法,保持了原 1BT 算法的多带通滤波优势,并加入模板图像(CM),用来避免门限附近像素两极分化的估计误差,为优化计算时间,改进的滤波核函数只包含 16 个非零元素,可以用简单的移位运算代替复杂的乘法计算,易于硬件实现,算法效率高。

参考文献[8]引入平滑门限到卷积核中,消除噪声的不良影响,实验证实,平滑门限选择 3 和模板图

像构造门限选择 10 能达到很好的效果。因此,最终选择的构造位平面 B 和模板图像 CM 的公式形式如下所示:

$$B(i,j) = \begin{cases} 1, & \text{如果 } |I(i,j)| \geq |I_t(i,j)| + 3 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

$$CM(i,j) = \begin{cases} 1, & \text{如果 } |I^t(i,j)| - |I_t^t(i,j)| \geq 10 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

式中: I 和 I_t 分别代表原图像和滤波后图像; (i,j) 表示图像的位置坐标; t 为时间坐标。

以 coastguard 图像为例,利用公式(1)和(2)进行变换,得到 B 图像和 CM 图像如图 1 所示。

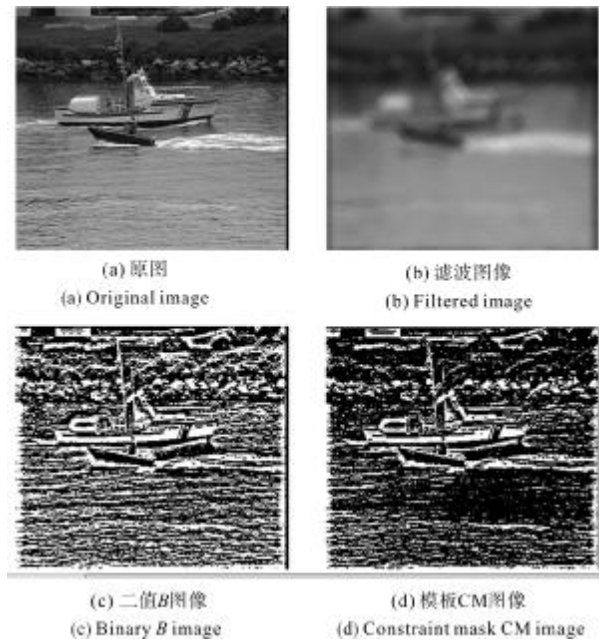


图 1 C-1BT 变换的图像

Fig.1 C-1BT transformation image

对应的,1BT 和 C-1BT 变换的匹配准则函数如公式(3)、(4)所示:

$$NNMP(m,n) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} B^t(i,j) \oplus B^{t-1}(i+m,j+n) \quad (3)$$

$$CNNMP(m,n) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \left\{ \left[CM^t(i,j) \parallel CM^{t-1}(i+m,j+n) \right] \right. \\ \left. \odot \left[B^t(i,j) \oplus B^{t-1}(i+m,j+n) \right] \right\} \quad (4)$$

$$-s \leq m, n \leq s$$

其中,公式(3)是 1BT 变换准则函数,而公式(4)对应 C-1BT 变换。 N 为匹配块的尺寸; (m,n) 代表候选位置; s 为搜索范围。符号 \parallel 、 \oplus 、 \odot 分别表示或、异或、与运算。

1.2 全局运动参数模型

由于 C-1BT 变换只提取图像的部分灰度信息,因此现有的基于 C-1BT 变换的运动估计方法多应用在实时性要求高但运动形式简单的视频环境中,同时块匹配法是基于块内所有像素运动一致性的假设,基于以上两点,文中最终选择平移参数模型,如公式(5)所示。

$$\begin{aligned}x_t &= x_{t-1} + dx \\y_t &= y_{t-1} + dy\end{aligned}\quad (5)$$

式中: (x, y) 分别表示横纵坐标; t 为时间坐标; (dx, dy) 为平移变换参数。

2 算法描述

目前存在的文献中,基于 C-1BT 变换的平移运动估计法,多数采用全搜索算法(Full Search, FS),因为 FS 法可以避免陷入局部最优的风险,保证估计的准确性。但其需要遍历搜索范围内的每个点,极大地浪费运算时间。同时,视频场景中大多存在局部运动物体等不稳定区域,其运动矢量与全局运动趋势表现出非一致性,影响最终参数求解的精度,同时浪费搜索时间。因此,如何在局部运动估计之前提取稳定的背景区域是算法研究的重点。仲训昱^[9]提出预判子块的思想,根据邻域纹理差异剔除外块。Oguzhan Urhan^[10]证明了 B 图像上对应位置的相关值能在一定程度上代表区域的运动程度。Hyuklee^[11]证明了原图像与滤波图像的差值可以评价图像纹理的丰富程度。同时,纹理丰富的背景区域子块能提供更好的估计结果。利用上述理论,并基于全局运动是在视频序列中占较大比例的像素运动这一特点,提出一种基于 C-1BT 变换的预选算法,根据预选算法的特点对 ARPS 算法进行改进,提高初始预测的准确性。预选算法和改进搜索法具体实现过程如 2.1 和 2.2 节所述。

2.1 预选算法

局部运动估计是整个全局参数算法中最耗费时间的部分,且最终参数精度也完全依赖于局部运动结果的正确性,因此选取合适的处理块至关重要。参考文献[10-11]中的相关理论,结合实际拍摄的视频序列中存在大量静止区域的特点,在传统 C-1BT 变换的基础上,提出预选子块的算法具体描述如下:

(1) 根据公式(1)求解 B 图像,并保留原图像与滤波图像的对应差值。按照公式(3),计算 B 图像中所有子块的 NNMP(0,0)值,当其小于阈值 Th1,标记为零矢量块(ZV)。

(2) 统计所有 NNMP(0,0)值,得到平均值 M,由于其代表区域的运动程度,根据全局运动矢量具有一致性的特点,只选择其值在一定范围内的子块,规则如公式(6)所示:

$$|\text{NNMP}_i(0,0) - M| \leq \text{Th2} \quad i=1,2,\dots,n \quad (6)$$

式中: Th2 为初始阈值; n 为每次操作时保留的子块总数。实验时根据具体要求, Th2 随着最终确定的子块数目 N 按一定规则自适应变化。

(3) 优化已选子块。1) 利用前景物体的聚集性,判断已选择子块的邻域情况优化选择结果。2) 去掉不稳定的边缘区域。3) 判断选定子块对应的平均差值灰度值,保留大于门限 Th3 的丰富纹理子块。

(4) CM 图像的构造。虽然采用自适应门限值构造模板图像能提高算法的准确度,但加重运算负担,同时由于预处理算法已经增加算法复杂度,所以,此处采用固定门限构造模板图像。

2.2 快速全局搜索法

ARPS 算法的搜索精度与经典的钻石搜索法(Diamond Search, DS)算法接近,并且搜索步数仅为 DS 的一半。由于上述预选处理只保留下部分子块,预测时,某些子块位置孤立无法利用邻域信息,传统的 ARPS 算法不再适用。因此,根据全局运动一致性的特点,对传统算法进行改进。并根据全局运动是图像中占主导地位的运动这一特点,提前判定获得的 ZV 块数,如果大于总数的三分之二,认定图像静止,无需补偿,否则继续搜索。搜索过程具体描述如下:

(1) 如果当前子块的 CNNMP(0,0)值小于给定的门限,标记 ZV 块,结束该块的搜索。

(2) 判断当前子块的邻域情况,如果是孤立子块转到 1)搜索,其他情况采用 2)过程。

1) 正确估计结果在图像中总是占主要地位,统计已估计出的运动矢量(MV),采用最大概率的 MV 值作为预测运动矢量(MV_{predict}),如果是零,为避免陷入局部最优,采用最大搜索范围的一半预测臂长。臂长预测公式如(7)所示:

$$T = \max(\text{abs}(\text{MV}_{\text{predict}}(x)), \text{abs}(\text{MV}_{\text{predict}}(y))) \quad (7)$$

根据 T 进行一次大菱形搜索, 将位置移动到本次搜索的最优匹配点, 臂长减半。如果最优值在菱形的四个外点时, 相应方向的臂长向外扩一个像素, 其余方向臂长不变。若最优值在中心, 则臂长均向内移动一个像素。按照上述规则循环更新菱形模板, 直到最优值两次出现中心位置, 或者四个方向的臂长均为 1 时, 结束本次搜索。

2) 如果左邻域被舍弃, 采用上邻域值作为 $MV_{predict}$ 。根据预测得到的臂长进行一次大菱形搜索。将位置移动到本次搜索的最优匹配点

(3) 小菱形搜索。采用臂长为 1 的小菱形模板循环搜索, 直到最优值出现在中心点, 结束搜索, 即为最终的运动矢量。

3 算法仿真结果

3.1 预选算法的实验仿真

为了验证提出预选算法的有效性, 在 Matlab7.6 环境下进行实验仿真, 文中子块数目 N 满足如下条件:

$$N_{min} \leq N \leq N_{max}$$

$$N_{min} = (1/3) * total, total \text{ 表示总的块数}$$

$$N_{max} = \max(1 * total / 2, z_{v_{total}}), z_{v_{total}} \text{ 表示 } z_v \text{ 的总块数}$$

以自拍序列 Mouse (512×672) 为例进行仿真实验, 子块尺寸为 32×32, 搜索范围为(-32,+32)。仿真时, 自适应门限 Th2 初始值设为 NNMP 最大值的十分之一, 以 0.1×Th2 作为变化步长, 不断进行迭代, 直到选中的块数量满足条件, 门限停止变化并标记初步选中的子块。根据前景物体聚集成块的特性优化初选中的子块。最后, Th3 选为 8, 已选中的子块只有平均灰度差值大于 8 的块才被最终保留下来。各阶段预选结果实验仿真如图 2 所示。

其中, 未被选中的块以黑色代替, (a) 为原图像, (b) 是全局区域选取的效果图, (c) 中图像加入了前景目标优化和边缘剔除处理, (d) 删除了过于平滑区域。从预选效果图可以清晰地看出, 提出的方法基本有效剔除了前景运动物体, 只保留少数高鲁棒性的纹理丰富区域, 能更好地代表全局运动的趋势和特点, 是准确求解全局运动参数的基础, 并且由于参与搜索运算的子块数量大大减少, 能有效减少匹配时间。

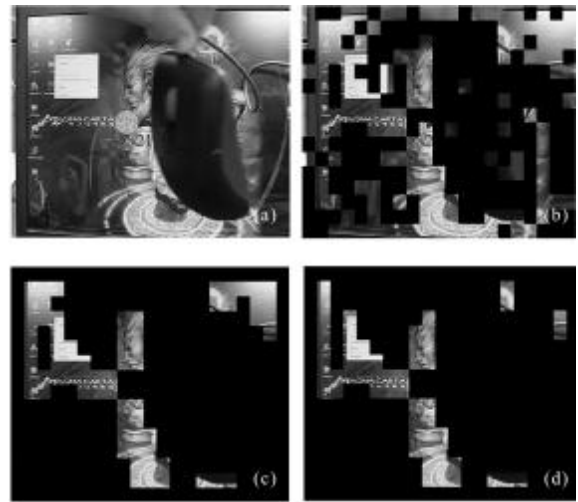


图 2 预选算法结果图

Fig.2 Pre-selection results

3.2 算法的准确性验证

仍然采用上述相同的环境进行实验仿真, 下面从有效性和实时性两方面来证明提出的方法。

(1) 选用三组已知全局运动参数的图片作为估计对象。基于均方绝对差(MAD)的 FS 被认为是解决平移运动的最准确算法, 作为评价标准。同时, 采用参考文献[7]中原 C-1BT 算法结合不同的搜索过程作为比较算法来说明改进算法的性能。最终得到的正确运动矢量概率如表 1 所示。

表 1 各种算法得到的准确 MV 概率

Tab.1 Various methods MV probabilities

Sequence GMV	Football (0,1)	Lena (-3,-5)	Coastguard (-9,1)
FS-MAD	(0.73,0.62)	(0.84,0.88)	(0.85,0.42)
FS-1BT	(0.71,0.45)	(0.68,0.75)	(0.70,0.38)
DS-1BT	(0.75,0.47)	(0.48,0.56)	(error)
ARPS-BT	(0.76,0.46)	(0.51,0.58)	(0.49,0.32)
Our-method	(0.90,0.69)	(0.67,0.76)	(0.89,0.50)

其中, FS-MAD 指的是结合 MAD 的 FS 算法, FS-1BT、DS-1BT、ARPS-1BT 分别为原参考文献[7]中方法结合 FS、DS 和 ARPS 的结果。从上面的表格中可以看出提出方法的准确性接近于标准算法 FS-MAD, 尤其对存在局部运动物体的图像表现出色, 如例子中的 ‘Football’。这是因为预选算法可以在局部运动估计前有效去除大部分不稳定区域, 保证了估计的精度。然而, 在类似 ‘Lena’ 图像中, 虽然没有局

部运动物体存在,但是预选算法仍然去除部分区域,降低原图像的有效信息,使准确度下降。同时,文中提出的算法不适合前景物体占整体范围超过二分之一的图像,可能得到错误的估计结果。

(2) 为了直观证明预选算法理论的正确性,采用标准测试序列‘Stefan’中的一帧,利用 ARPS-1BT 法进行估计,并标出各区域运动矢量,如图 3(a)所示。同时,采用提出算法进行处理,将预选舍弃部分用黑色块代替,同时标出估计结果,如图 3(b)所示。正确的运动矢量为(0,0),可以看出预选算法去掉了大部分误匹配区域,同时结合改进的 ARPS 法,估计出的结果几乎都为正确的运动矢量,对比结果如图 3 所示。

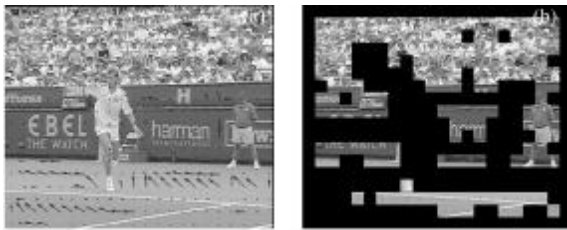


图 3 有效性对比结果

Fig.3 Effectiveness comparison results

(3) 针对算法的实时性,理论上来说,首先,虽然预选算法的引入增加了部分运算负担,但是保留下来进行全局搜索的少数子块准确度、识别性好。其次,改进的 ARPS 算法能更好地利用全局运动的性质,增加预测过程的准确性,减少陷入局部最优的风险,因此占据稳像算法主要计算负担的搜索过程性能有了极大的提高。最后,由于预选算法是在传统 C-1BT 变换的基础上保存并判断某些特征值,运算易于硬件实现,如果采用并行处理,计算速度进一步增加。

从仿真运行时间来看,采用不同分辨率和运动程度的图像,或者由于具体编程方式和实验条件不同,算法运行时间都略有不同,但在同样实验条件下,经过大量实验发现各部分运算操作的时间比率基本保持一致,因此,文中采用几幅图像的平均运行时间进行比较。均以 C-1BT 变换为基础,结合各类搜索方法和文中改进算法进行比较。具体运行时间比较如表 2 所示。

其中,Pretreatment 包括 C-1BT 变换过程和预选

过程,Parameters estimation 是指从局部运动矢量统计最终全局参数的过程。从表 2 可以看出,提出算法与 ARPS-1BT 法速度相近,但是提出算法能搜索的有效范围增大,精度提高。总之,提出的算法无论在可靠性还是实时性方面都有一定程度的提高。

表 2 各种算法运行时间比较

Tab.2 Computation time comparison of various parameters

Operations	Pretreatment operation/s	Block match/s	Parameters estimation/s	Total time/s
FS-1BT	0.128 4	7.669 8	0.074 2	7.872 4
DS-1BT	0.128 4	0.396 5	0.074 2	0.599 1
ARPS-1BT	0.128 4	0.228 1	0.074 2	0.430 7
Our-method	0.178 4	0.250 8	0.001 5	0.430 7

(4) 采用文中算法对序列‘Football’的任意两帧图像进行估计和补偿。补偿前后的差值图像如图 4 所示。

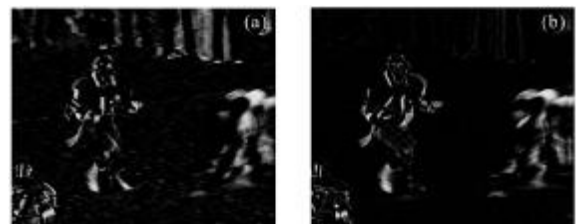


图 4 差值图像对比结果

Fig.4 Difference image comparison results

其中,图 4(a)为原差值图像,图 4(b)为补偿后的差值图像。选择峰值信噪比(PSNR)作为客观评价标准,原差值图像为 17.88 dB,补偿后 PSNR 提高 20.25 dB。主观上也可以看出提出算法能有效地补偿大部分的抖动位移。

4 结 论

由于全局运动参数的精度完全取决于参与搜索运算的全部子块的整体估计水平,因此为了改善最终估计结果的准确性,笔者提出一种基于预选算法的快速全局运动估计方法。在计算局部运动矢量之前,分析常见的不稳定因素的特点,包括局部运动物体、不稳定的边缘部分和过平滑区域,只保留少量高鲁棒性区域。同时,在搜索阶段,改进的 ARPS

算法能更好地自适应调整臂长预测部分,得到一个更优的初始预测矢量。理论和仿真结果均证实了提出的方法无论在精度还是有效性方面都有一定程度的提高。

今后打算扩展算法估计旋转角度,同时增加文中门限的自适应性。

参考文献:

- [1] Lin Jinmei, Zhou Fugen, Jin Ting. Stabilization algorithm based on SIFT feature for dynamic airborne video[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(12): 2552-2557. (in Chinese)
林锦梅, 周付根, 金挺. 采用 SIFT 特征的空基动态视频稳定技术[J]. *红外与激光工程*, 2011, 40(12): 2552-2557.
- [2] Ge Weilong, Lei Xuanhua. Fast algorithm to realize image stabilization [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2004, 33(1): 43-46. (in Chinese)
葛卫龙, 雷选华. 实现图像稳定的快速算法[J]. *红外与激光工程*, 2004, 33(1): 43-46.
- [3] Ma Peng, Pan Jianshou, Cao Lingling. Global motion estimation algorithm based on LMedS & LS[J]. *Computer Engineering*, 2011, 37(15): 221-223. (in Chinese)
马鹏, 潘建寿, 曹玲玲. 基于 LMedS&LS 的全局运动估计算法[J]. *计算机工程*, 2011, 37(15): 221-223.
- [4] Luo Jun, Dong Hongyan, Shen Zhenkang. Video stabilization based on bit-plane registration and Kalman filter [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(2): 304-307. (in Chinese)
罗军, 董鸿雁, 沈振康. 基于位平面匹配和卡尔曼滤波的视频稳定[J]. *红外与激光工程*, 2008, 37(2): 304-307.
- [5] Balas Natarajan, Vasudev Bhaskaran, Konstantinos Konstantinides. Low-complexity block-based motion estimation via one-bit transforms [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1997, 7(4): 702-706.
- [6] Urhan O, Ertürk S. Constrained one-bit transform for low-complexity block motion estimation [J]. *IEEE Trans Circuits Syst Video Technology*, 2007, 17(4): 478-482.
- [7] Ertürk S. Multiplication-free one-bit transform for low-complexity block-based motion estimation [J]. *IEEE Signal Process Letter*, 2007, 44(2): 109-112.
- [8] Wai Chong Chia, Li Wern Chew, Liminn Ang. 2D one-bit-transform motion estimation algorithm with smoothing and preprocessing [C], 2009.
- [9] Zhong Xunyu, Zhu Qidan, Zhang Zhi. Study of fast and robust motion estimation in the digital image stabilization[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2010, 38(1): 251-256. (in Chinese)
仲训昱, 朱齐丹, 张智. 数字图像中的快速和鲁棒运动估计研究[J]. *电子学报*, 2010, 38(1): 251-256.
- [10] Oğuzhan Urhan. Constrained one-bit transform based fast block motion estimation using adaptive search range [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2010, 56(3): 1868-1871.
- [11] Hyuk Lee, Jechang Jeong. Early termination scheme for binary block motion estimation [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2007, 53(4): 1682-1686.