

文章编号:1001-9081(2010)06-1559-03

一种快速的模板匹配算法

唐 璘, 李 青

(中南大学 信息科学与工程学院, 长沙 410083)

(285335699@qq.com)

摘 要:针对传统的模板匹配算法通常效率较低、计算速度较慢的问题,提出了一种快速的模板匹配方法。该算法一开始取较少的点参与模板匹配,逐步增加参与匹配的点的数目。通过相关系数的比较来决定下一步增加匹配点继续匹配,或者放弃在该位置的匹配,移动模板到新的位置进行新的匹配。计算相关系数时,每次增加参与匹配的点后,首先只对新增的点进行计算,然后与原有的相关系数进行组合,得到新的相关系数。这样就大大减少了算法的计算量。此外,该算法在匹配的过程中所使用的点总是均匀覆盖模板,从而保证了算法的准确度。该算法速度快,准确程度高,能够满足实时性的要求。

关键词:模板匹配;机器视觉;多步长

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Fast template matching algorithm

TANG Jin, LI Qing

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha Hunan 410083, China)

Abstract: The traditional template matching method has low efficiency and low speed. This paper proposed a fast template matching algorithm. In the beginning, just a small part of points were involved in template matching, and gradually more and more points got involved in template matching. Through the comparison of correlation coefficients, it was determined whether to increase the number of matching points or to abandon the current matching position and move to a new position for a new match. When calculating the correlation coefficient, we just calculated with the new points, and then merged it with the original correlation coefficient to get a new correlation coefficient. This greatly reduced the computation of the algorithm. The points involved in calculating the correlation coefficient always were distributed on the template uniformly, which ensured the accuracy of method. The proposed algorithm has high accuracy and high speed, and it can satisfy the request of real-time.

Key words: template matching; machine vision; multi-step

0 引言

模板匹配是一种有效的模式识别技术,它能利用图像信息和有关识别模式的先验知识,更加直接地反映图像之间的相似度^[1],在传统模板匹配算法中搜索子图窗口移动的步长为1,也就是说传统模板匹配算法是依次逐步进行遍历的,并且每步都需要计算整幅搜索子图与模板的相关系数,这种策略虽然使用方便,能保证较高的准确率,但计算量非常大,由于最终有效的匹配只有一次而已,也就是说匹配过程中的绝大部分计算都是无谓的运算,这就导致了运行效率低,难以实时响应系统的要求^[2-3]。本文在对模板匹配算法进行深入分析的基础上,总结出了一种快速的模板匹配算法。该算法在每一个位置上采取逐步增加匹配点数的办法,并记录已计算的点和上一步长的计算结果,保证不进行重复计算,大大缩小了模板匹配过程中的计算量。

1 现有的模板匹配算法

模板是一幅已知的小图像,模板匹配就是在幅大图像中搜索目标。已知该大图像中有要找的目标,且该目标与模板具有相近的尺寸、方向和图像,通过一定的算法可以在图中找到目标,并确定其坐标位置^[4]。

本文中假设待搜索图像 S 的尺寸为 $W \times H$,模板 T 的尺寸为 $M \times N$,模板 T 在图像 S 上平移,搜索窗口所覆盖的子图记作 S^{ij} ,其中 i, j 为子图的左上角顶点在图 S 中的坐标。很明显, i, j 的搜索范围应该为 $1 \leq i \leq W - M, 1 \leq j \leq H - N$ 。最终通过比较 T 和 S^{ij} 的相似性,完成模板匹配过程^[5-6]。如图1~2所示。

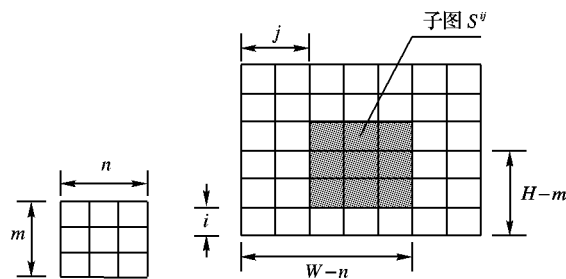


图1 模板图 T

图2 被搜索子图 S

归一化模板匹配的相关系数 $R(i, j)$ 的计算公式如下^[7]:

$$R(i, j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S^{ij}(m, n) \times T(m, n)}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{ij}(m, n)]^2} \sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [T(m, n)]^2}} \quad (1)$$

收稿日期:2009-12-22;修回日期:2010-02-27。 基金项目:国家自然科学基金资助项目(90820302)。

作者简介:唐璘(1966-),男,湖南邵阳人,教授,博士生导师,博士,主要研究方向:图像处理、机器人;李青(1985-),男,湖南株洲人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理。

传统的模板匹配算法方法准确度高,但是速度比较慢,随着图像数据量的增加,有时无法满足实时性需求。因此,研究者开始试着在可接受范围内降低一定精度,寻找一些方法来提高匹配速度^[8]。匹配方法的速度除了图像本身的因素,还与匹配相似度函数和搜索方法有关,研究者在这两方面都做了大量工作,得到一些成果。

1.1 几种匹配搜索方法

固定步长模板匹配,在传统模板匹配上进行改进,设置一定的步长,先进行粗定位,得到的图像上相似度最大的点,然后再在粗定位的位置周围搜索最佳匹配位置^[8]。固定步长模板匹配,速度和精确度与步长有关,步长太小,速度得不到明显提高;步长太大,容易失去最佳匹配位置,出现匹配失准,精确度下降。

多步长模板匹配,模板图像与搜索子图在 x 和 y 方向分别按其当前步长 S_x 和 S_y 采集数据,并根据这些数据计算模板图像与搜索子图的相关系数 R 。如果当前相关系数 R 小于相关系数的最大值 R_{\max} ,则移动搜索子图至下一位置,反之取 x 和 y 方向的当前步长的一半作为新的步长,再进行计算。多步长模板匹配,当步长变化时,需重新采集数据并重新计算,对于前一步长中计算过的像素点进行了重复计算^[9]。

金字塔搜索法也叫分层搜索法,是直接基于人眼的视觉特点,先粗后精地观看事物。金字塔模板匹配首先需要预处理,即指对被匹配的图像和模板进行分层预处理,使得待匹配图模板像构成一组分辨率由高到低,而维数从大到小的图像序列,然后是进行相关计算,是从粗到细地相关过程,逐层地搜索到最佳位置^[10]。

其他的如遗传搜索和菱形搜索算法。遗传算法搜索法采用有指导的非遍历随机搜索机制,可以快速收敛到全局近似最优解及最优解;若匹配对象边缘特征很明显,可以利用其边缘特征进行匹配。首先进行边缘提取,根据这些特征点进行粗匹配,然后在粗匹配阶段相似度较高点附近用整个模板进行精匹配^[11]。菱形搜索法为寻找使得绝对差值总和(Sum of Absolute Difference, SAD)最小的匹配块,用了两种搜索模板,9个搜索点的大模板LDSP和5个搜索点的小模板SDSP,搜索时先用大模板计算,当最小块误差点MBD出现在中心点处时,将大模板LDSP换为SDSP,再进行匹配计算,此时5个点中的MBD即为最优匹配点^[12]。

1.2 几种改进匹配相关系数函数的匹配算法

1) 基于相关系数最大值的快速模板匹配算法。设计一个估计函数 $f(x, y)$,如式(2),用来估计相关系数的上限值,这个函数需要的运算时间远远小于相关系数的计算,用来估计相关系数的上限值,与当前最佳匹配位置的比较,迅速跳过一些匹配度不合要求的位置。

$$f(x, y) = \frac{1}{2} \left[\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S^{\bar{y}}(m, n)^2 + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N T(m, n)^2 \right] \quad (2)$$

2) 多值模板方法。结合差分求和理论,对相关系数匹配公式进行改进。具体过程是:首先对模板进行多值化,同时对多值化后的所有像素进行排序和差分。因为差分数组存在大量的0,对0的乘法运算可忽略不计,从而大大减少乘法运算量,提高匹配运算速度^[11]。

3) 其他的改进匹配相似度函数的方法。基于分层模板的模板匹配,算法的基本思想是将匹配模板分成核心和外围两个部分,模板核心部分是目标的主要部分,给予较高的权值;

外围部分有可能是背景,或者被障碍物遮挡,它们的加权值较低^[13]。基于图像灰度值的编码的模板匹配法,这种方法将图像分割为一定大小的方块(称为M块),计算每个M块图像的总灰度值,并根据它与相邻M块灰度值的排序关系进行编码。然后通过各个M块编码值的比较,实现图像与模板的匹配,匹配过程对编码值进行相等比较^[14]。

2 本文改进的模板匹配算法

为了解决模板匹配过程中的匹配准确率与匹配效率的矛盾,文中借鉴金字塔结构模板匹配的思想,在每一个搜索子图中采用多步长模板匹配的方法,但是对一个位置都进行相关计算,并且引进淘汰机制。本文算法与金字塔结构模板匹配算法不同,不对图像和模板分层,可以有效地节省存储空间。在每一个位置都进行相关度计算,每一位置采用了逐步增加匹配点的匹配策略,虽然每一个位置都进行相关度计算,但每一个位置并不是所有点都参与计算,首先均匀采集一些像素点,进行相关计算,并引进淘汰机制,迅速跳过一些不符合要求的位置,对于符合要求的位置则进一步增加参加相关计算的像素点,进行进一步计算。并在运算过程中,记录已运算过的像素,保证不进行重复计算,保存步长变化前的运算结果,直接用于下一步长的计算。该策略可以大幅度减少模板匹配过程中的计算量,进而提高模板匹配的效率,同时由于该算法在各步长匹配的过程中采集的数据能够均匀地覆盖整个搜索子图,因而利用这些数据计算模板匹配相关系数 R 就可以在很大程度上降低算法的误检率,实验表明该算法可以有效地缓解上述矛盾,即在保证模板匹配准确率的前提下,大幅度提高模板匹配的效率。

以 8×8 模板为例说明本文算法的具体运算过程,运算示意图如图3所示,图中“○”表示尚未参加相关系数计算的像素点,“×”表示已经计算过的像素点,“!”表示当前参加相关系数计算的像素点。在第一次匹配时,竖直方向初始步长均为4,模板中进行相关系数计算的点,为图3(a)中标为“!”的像素点。如果当前相关系数 R 小于目前相关系数的最大值 R_{\max} ,则移动搜索子图至下一位置,则这次匹配过程只需计算64个中的4个点就告结束。如果当前相关系数 R 大于相关系数的最大值,则对水平竖直方向的步长取前一步长的一半,使水平竖直方向的步长为2,并把此时的相关系数记为新的相关系数的最大值 R_{\max} 。此时,模板中进行相关系数计算的点为图3(b)中标为“!”和“×”的像素点,标为“×”像素点为已经计算过的点,算法中采取了相关处理,只需计算标为“!”的点,防止重复计算。如果匹配在这个阶段结束,连同第一次匹配,总共计算了16个点,为总像素点的1/4。如果此时相关系数 R 大于相关系数的最大值,则步长变为1,把剩余的点,即图3(c)中标为“!”的,进行相关系数计算,这种情况下所有的点都进行了匹配计算。

文献[9]中算法在步长改变时存在重复计算,在步长改变前,有些点已经参加了相关运算,已经存在了相关运算的结果,在步长改变后,这些点再次参加了相关运算。本文对此进行了改进,采取一些方法来防止重复计算,直接利用了上一步长时的运算结果,根据相关计算的公式,本文算法在步长改变时保存了已运算点的 $\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S^{\bar{y}}(m, n) \times T(m, n)$ 、 $\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{\bar{y}}(m, n)]^2$ 和 $\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [T(m, n)]^2$ 的结果,下一步长

时的运算可直接加以使用。

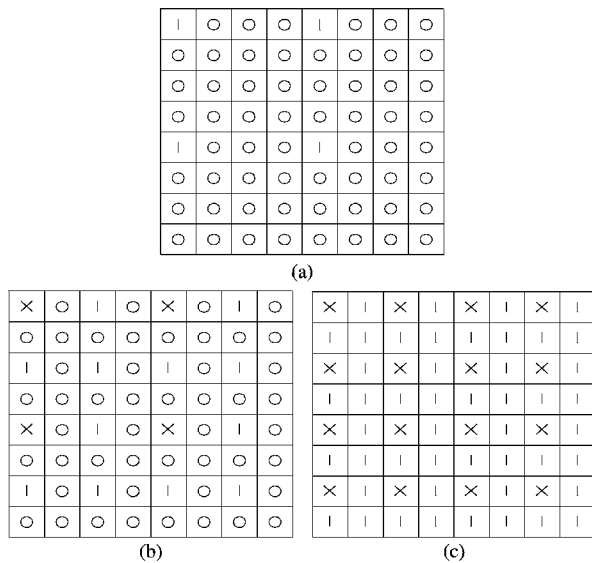


图3 运算示意图

对于任意的矩形模板,该算法可如下进行:

第1步 初始化。

定义模板匹配过程中的在当前 x 、 y 方向的步长分别为 S_x 、 S_y 。

定义数组 $seNewX[M]$ 用于记录第一次有像素点参与相关系数计算的行,下文中称为新行;定义数组 $seOldX[M]$ 用于记录已经有像素点参与相关系数的行,下文称为旧行;定义数组 $seNewY[N]$ 用于记录第一次有像素点参与相关系数计算的列,下文中称为新列;定义数组 $seOldY[N]$ 用于记录已经有像素点参与相关系数的列,下文称为旧列。用1表示逻辑真,0表示逻辑假。

定义最大模板匹配相关系数为 R_{max} ,初始化为0。

第2步 初始化 S_x 为 $M/4$, S_y 为 $N/4$ 。初始化数组 $seNewX[M]$ 、 $seOldX[M]$ 、 $seNewY[N]$ 、 $seOldY[N]$ 为0。

第3步 设置 $seNewX[i]$ 和 $seNewY[j]$ 。

按照步长 S_x 和 $seOldX[i]$ 设置 $seNewX[i]$,对于 i 行,当 i 能整除 S_x 且 $seOldX[i]$ 等于0时,把 $seNewX[i]$ 设置为1;按照步长 S_y 和 $seOldY[j]$ 设置 $seNewY[j]$,对于列 j ,当 j 能整除 S_y 且 $seOldY[j]$ 等于零时,把 $seNewY[j]$ 设置为1。

第4步 模板图像与搜索子图在 x 和 y 方向分别按当前步长 S_x 、 S_y 采集数据,对于新行采取新列或旧列中为1的列的像素点,对于旧行,只采取新列中为1的列的像素点,并根据这些数据计算模板图像与搜索子图的相关系数 R 。

第5步 如果当前相关系数 R 小于相关系数的最大值 R_{max} ,则移动搜索子图至下一位置,并从第2步开始重新计算。反之对 x 和 y 方向的当前步长的一半取其整数部分作为新的步长 S_x 和 S_y 。如果此时 S_x 与 S_y 大于0,则把行列新旧行列合并,如果 $seNewX[i]$ 为1, $seOldX[i]$ 置1,同理如果 $seNewY[j]$ 为1, $seOldY[j]$ 置1,然后清零新列和新行,然后回到第3步继续计算,反之,取当前的相关系数 R 作为最大相关系数 R_{max} ,并记录下此时搜索子图的位置。

第6步 如果搜索子图仍然可以平移,则平移搜索子图并从第2步重新开始计算;否则,记录下的位置便是模板匹配的最终结果。

3 实验与讨论

本文的算法被应用到多个图像处理的程序中,包括图像

拼接、汽车目标搜索、交通标志牌识别、驾驶员疲劳检测等,均取得了良好的效果。

这里以疲劳检测为例加以说明。疲劳检测首先要找到人眼,本文在人脸图像中利用人眼模板寻找人眼。这里将人脸左上角1/4区域划分为准左眼区域,将人脸右上角1/4区域划分为准右眼区域,而后利用改进的模板匹配算法分别在准左眼区域和准右眼区域进行人眼的模板匹配,并得到两个相关系数最大值及此时搜索子图相对于原图的位置,得到的位置分别为人脸左右眼的位置,如图4(a)。然后在原图中标记出人眼位置,如图4(b)所示。人眼模板如图4(c)所示。

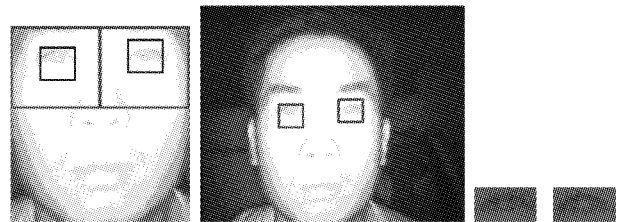


图4 实验图像

利用本文的模板匹配算法对10人共500幅图像进行了人眼定位实验,共成功检测出408幅,准确率达到了81%,实验数据如表1所示。

表1 实验结果对比

算法	平均时间/ms	准确率/%
传统模板匹配算法	141.654	85
多步长模板匹配算法	16.846	81
本文模板匹配算法	15.500	81

从以上的实验效果和数据可以看出,本文中所采用的模板匹配的算法是一种有效的算法,该算法在模板匹配的过程中采用淘汰式的策略(即若从当前搜索子图和模板中抽取的样本点得到的匹配系数 R 小于当前最大值 R_{max} ,则认定该位置与模板不匹配,淘汰之;否则扩大采样点的范围再次比较,直至新计算的 R 值大于当前 R_{max} 或采样点的个数等于模板中像素点的个数),这大幅度减少了模板匹配过程中的计算量,从而大幅度提高了模板匹配的运行效率。另外在扩大采样点的过程中,只增加没有计算过的点,防止重复计算,并且在淘汰的过程中由于所抽取的采样点均匀分布在搜索子图内,它们完全可以表征搜索子图的特征,因此,该算法在提高效率的同时保证了模板匹配的准确率。

值得指出的是,本文的模板匹配算法在提高算法的效率的同时,基本没有消耗更多的内存。因为算法不对主图和模板进行任何变换,只增加了一些标记变量。当模板长为 H 、宽为 W 时,需要增加两个长度为 H 和两个为长度为 W 的布尔型数组,用于标记已经参加了相关计算的点和当前需要进行相关计算的点,还需要增加两个双精度变量来存储上一次的相关系数的计算结果。

以 8×8 模板和C语言为例,与传统的模板匹配算法相比,只需增加4个长度为8的布尔型数组和两个8字节双精度变量,总共增加了12 B。模板的大小为64 B,增加的内存为模板大小的31.1%。由于模板的大小相对于待搜索的主图来说是很小的,占内存的主要是待搜索的主图,所以本文算法中增加的内存消耗是微不足道的。(下转第1564页)

了图像的部分细节,图像出现模糊(见图3(e))。Shearlet变换能够对图像进行稀疏表示且产生最优逼近,因此本文算法

可以获得较好的去噪效果(见图3(f))。从表1也可以看出,本文算法可以获得更高的PSNR增益。



图3 各算法重建的Lena图像(噪声标准差为20)

4 结语

本文在Shearlet变换理论基础上提出了一种Shearlet变换分解和重构的实现方法,并将其运用到图像去噪中。与小波域、Curvelet域和Contourlet域去噪算法相比,该方法在去噪的同时保留了更多的纹理信息,具有更好的视觉效果,且PSNR值有很大的提高。

参考文献:

- [1] CANDES E J, DONOHO D L. Fast discrete curvelet transform [J]. Multiscale Modeling Simulation, 2005, 5(5): 861-899.
- [2] DO M N, VETTERLI M. Contourlets, beyond wavelets [M]. WELLAND G V. [S. l.]: Academic Press, 2003.
- [3] GUO K, LABATE D. Optimally Sparse multidimensional representation using Shearlets [J]. SIAM Journal on Mathematical Analysis,

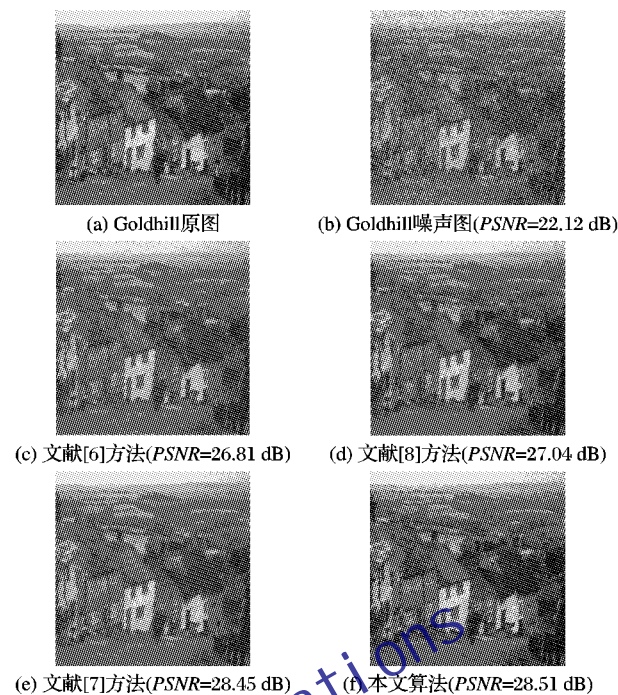


图4 各算法重建的Goldhill图像(噪声标准差为20)

- 2007, 39(1): 298-318.
- [4] EASLEY C R, LABATE D. Sparse directional image representations using the discrete Shearlet transform [J]. Applied Computational Harmonic Analysis, 2008, 25(1): 25-46.
- [5] PO D D-Y, DO M N. Directional multiscale modeling of images using the Contourlet transform [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(6): 1610-1620.
- [6] MALLAT S. A wavelet tour of signal processing [M]. 2nd ed. [S. l.]: Academic Press, 1999.
- [7] STARCK J L, CANDES E J, DONOHO D L. The curvelet transform for image de-noising [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(6): 670-684.
- [8] DO M N, VETTERLI M. The Contourlet transform: An efficient directional multiresolution image resolution [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(12): 2091-2106.

(上接第1561页)

参考文献:

- [1] 梁路宏, 艾海舟, 肖习攀. 基于模板匹配与支持向量机的人脸检测[J]. 计算机学报, 2002, 25(1): 22-29.
- [2] 刘锦峰. 图像模板匹配快速算法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007.
- [3] STEFANO L D, MATTOCCIA S. Fast template matching using bounded partial correlation [J]. Machine Vision and Applications, 2003, 13(4): 213-221.
- [4] STEFANO L D, MATTOCCIA S, TOMBARI F. ZNCC-based template matching using bounded partial correlation [J]. Pattern Recognition Letters, 2005, (14): 2129-2134.
- [5] 费俊琳, 俞王新, 王志中. 一种改进的基于模板匹配眼睛特征点定位算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(32): 207-209, 213.
- [6] 崔政, 李壮. 两种改进的模板匹配识别算法[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(6): 1083-1085.
- [7] HARO A, FLICKNER M, ESSA I. Detecting and tracking eyes by using their physiological properties, dynamics and appearance

- [C]// Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. Washington, DC: IEEE, 2000: 332-335.
- [8] 王欣, 殷百川, 周翔翔. 一种改进的模板匹配识别算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(36): 238-240.
- [9] 栾柱晓, 唐璜, 郑群英. 一种改进的人眼模板匹配算法[J]. 计算机系统应用, 2009, 18(12): 75-78.
- [10] 宋毅, 崔平远, 居鹤华. 一种图像匹配中SSD和NCC算法的改进[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(2): 42-44.
- [11] 孙晓玲, 侯德文, 储凡静. 基于灰度积分投影和模板方法的人眼定位[J]. 信息技术与信息化, 2007, 32(4): 74-76.
- [12] 舒梅, 董秀成. 基于肤色和模板匹配的人眼定位[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(2): 237-239.
- [13] 吴小洪, 钟石明. 基于互相关边界特性和图像积分的快速模板匹配算法[J]. 计算机应用, 2009, 29(7): 1914-1917.
- [14] 李慧. H. 264中运动估计和运动补偿算法的优化与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2007.