

基于弧形修正滤波的柱面 AR 码识别算法

杨萌¹, 何亚轩¹, 闫德立¹, 张勇², 王伟明¹

(1. 石家庄铁道大学电气与电子工程学院, 河北石家庄 050043; 2. 军械技术研究所, 河北石家庄 050000)

摘要: AR 码在增强现实系统、空间视觉定位系统中应用广泛, 正确识别 AR 码是增强现实系统和空间视觉定位系统中实现物体识别和定位的关键技术, 经典的 AR 码识别方法对于平面上的 AR 码有较高识别率, 粘贴于柱面上的码由于在空间中发生畸变, 经典的识别方法无法准确识别 AR 码所携带的信息, 为此提出一种针对产生柱面畸变的 AR 码的识别方法. 首先采用一种通过添加定位标志位的改进的 AR 码编码方法对 AR 码进行编码, 利用弧形修正滤波算法对产生柱面畸变的 AR 码图像进行二维与三维空间校正, 在获得校正后的 AR 码图像后, 再利用 AR 码的行数与每个数据位之间长度的非线性关系对 AR 码进行划线分割, 最后利用像素值统计法实现 AR 码的识别, 并给出了相应的实验结果. 实验结果表明, 该方法对产生一定程度的柱面畸变的 AR 码具有鲁棒的识别效果.

关键词: AR 码识别; 柱面畸变; 弧形滤波; 非线性

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A doi: 10.3969/j.issn.0253-2778.2018.01.001

引用格式: 杨萌, 何亚轩, 闫德立, 等. 基于弧形修正滤波的柱面 AR 码识别算法[J]. 中国科学技术大学学报, 2018, 48(1): 1-6.

YANG Meng, HE Yaxuan, YAN Deli, et al. AR code recognition algorithm based on arc correction filter[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2018, 48(1): 1-6.

AR code recognition algorithm based on arc correction filter

YANG Meng¹, HE Yaxuan¹, YAN Deli¹, ZHANG Yong², WANG Weiming¹

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043;

2. Institute of Ordnance Technology, Shijiazhuang 050000)

Abstract: AR codes are widely used in augmented reality (AR) systems and space vision positioning system, and their correct identification is a crucial technology to realize object identification and positioning in AR systems and space vision positioning systems. Classic AR code identification method performs best for AR codes on the plane, but poorly for AR codes pasted on cylindrical surfaces due to distortion. A method for recognizing AR codes is proposed. First, an improved AR coding method by adding location flags is used to encode the AR code, then the arc correction filter algorithm is used to correct the cylindrically distorted AR code images in two-dimensionally and three-dimensionally. The corrected AR code is then non-linearly partitioned according to the non-linear relationship between the rows of the AR code and the the length of each data bit. Finally the AR code identification is implemented by computing

收稿日期: 2017-04-14; 修回日期: 2017-08-05

基金项目: 国家自然科学基金(11372199); 河北省自然科学基金(E201610104)资助.

作者简介: 杨萌, 女, 1994 年生, 硕士生, 研究方向为增强现实技术. E-mail: 343622257@qq.com

通讯作者: 闫德立, 博士/讲师. E-mail: yandl@stdu.edu.cn

the pixel values. Experimental results show that the proposed method has a robust identification effect for cylindrically distorted AR codes.

Key words: AR code recognition; cylindrical distortion; arc filter; non-linear

0 引言

增强现实(augmented reality, AR)技术是基于计算机多媒体和目标识别定位等技术,可将虚拟的物体合并到现实场景中,具有虚拟与现实共存、交互性强等特点^[1-3].

定位与跟踪技术是确保虚拟物体准确叠加到现实场景中的关键技术^[4],AR码作为一种典型标志物,可提供可靠的位置信息,广泛应用于解决增强现实系统与空间视觉定位系统的标记识别问题.AR码由分别代表1、0编码的黑白相间的矩形按一定规律分布在平面上,构成不同的二进制编码值.经典的AR码识别方法要求AR码在一个平面上摆放平整并且用摄像头采集的图像遵循透视原理的情况下才能够有效识别,由于日常生活和工业应用中存在大量圆柱形物体,使得AR码在三维空间中产生畸变,使得经典的识别方法难以有效识别AR码所代表的编码值.刘烽杰等^[5]通过添加辅助矩形与区域还原算法对柱面码进行校正,但要求背景相对清晰,便于添加辅助矩形.史志峰^[6]通过改进的霍夫变换提取码的轮廓,并通过不同的三维透视变换矩阵实现采样点的提取,并映射到原图,但该方法计算量较大.司国栋等^[7]通过求取码发生畸变的角度与半径,实现曲面投影到平面的映射,但该方法要求宽高比值大于0.7,限制了算法在实际中的应用.

为在复杂场景下识别AR码,本文设计了一种新方法,该方法首先在经典AR码编码上加入定位标志位,利用标志位来确定AR码的读取方向,接着利用一种改进的弧形AR码修正滤波算法将产生柱面畸变的AR码修正为基本满足透视变换的平面AR码形态,最后利用非线性划线分割的方法对AR码进行识别,扩大了AR码的适用范围.

1 改进AR码编码

AR码是一种特殊定制的汉明码,属于线性分组码.经典AR码每行分别包括数据位和监督位,其中,第2、4位为数据位,第1、3、5为校验位.AR码不同于汉明码,其首位取反.为了便于提取,经典AR

码在原来的基础上加了4条黑边,以ID156为例,经典AR码编码如图1所示^[8].

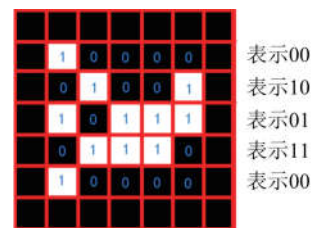


图1 经典AR码编码示意图

Fig.1 Classic AR code coding illustration

经过上述编码方法构成的AR码组成了一个方阵而且是没有确定方向的标识符,读取AR码的时候有4个方向,不同的方向可能在纠正几个错码之后也能识别为一个正确的码,因此在没有改进的情况下,一个AR码可能会在不同的方向上读出好几个不同的码,降低了AR码识别的正确率.为了准确识别AR码,本文在经典AR码基础上加入了定位标志位.

本文以1、0交替出现的编码方式作为定位标志位的编码方法,且长度为数据位长度加1,并将定位标志位添加在携带数据区域的编码起始点(即正视时左上角位置)的上方和左方,其中左上方重叠一个标志数据位,并在整个标记区域外添加1个数据位宽度的黑边,形成如图2所示的改进AR码图像.

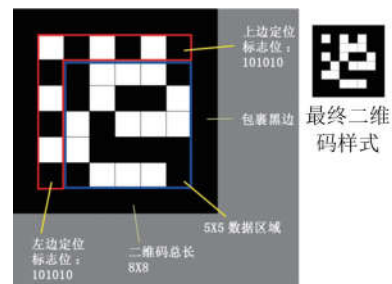


图2 添加定位标志位的AR码

Fig.2 AR code with location flag

2 弧形修正滤波

由于直接使用弧形分割识别弧形畸变的AR码基本上是不可实现的,因此要采用弧形检测滤波修正的办法将图像中的AR码修正为基本满足透视变换的平面AR码形态,如图3~5所示.



图 3 产生弧形畸变的 AR 码

Fig.3 AR code producing arc distortion

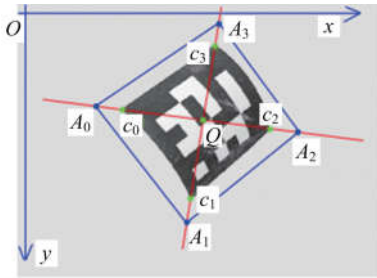


图 4 提取出的 AR 码图像

Fig.4 AR code being extracted



图 5 平面校正后的 AR 码

Fig.5 AR code being plane corrected

2.1 AR 码的提取及平面校正

对产生弧形畸变的图像(图 3),进行平面校正,具体步骤如下:

(I)提取 AR 码区域.利用自适应二值化、轮廓提取及多边形近似等步骤对可能的 AR 区域进行提取,通过进一步排除非 4 个顶点、非凸四边形的轮廓和过小的轮廓,得到含有 AR 码的图像,并且可得到 AR 码的四个顶点 c_0 、 c_1 、 c_2 、 c_3 ,如图 4 所示.

(II)对图像进行透视变换校正.首先求取透视变换前的矩阵,分别求出过 c_0 、 c_2 和 c_1 、 c_3 的两条直线方程以及两直线的交点 Q 的坐标.以 c_0 、 c_1 、 c_2 、 c_3 中距离 Q 点距离最大的点为基点,设轮廓外一点 A_0 在该基点所在直线上且距离该基点 $h(R/n \leq h \leq 3R/n)$ 像素,点 A_0 到点 Q 的距离记为 L ,并分别求出步骤(I)中两条直线上距离点 Q 为 L 的三个点, A_1 、 A_2 、 A_3 .以矩形 $A_0A_1A_2A_3$ 为透视变换前的矩阵,作透视变换可得到平面校正后的图像,即正投影的图像,如图 5 所示.

2.2 AR 码三维空间校正

2.2.1 弧边检测与凹弧朝上

在得到经过平面校正的图像后,为了对图像进行弧边修正,首先需要对图像进行弧边检测,虽然霍夫变换也可以检测椭圆,但是霍夫变换要扫描大量像素点,占用大量内存,实时性不好,而且检测出的是完整的椭圆^[9],对于检测弧边还需做进一步改进,且仍会存在检测不精确的问题,因此本文采用一种坐标比较的方法检测弧边,具体方法如下:

(I)如图 6 所示,AR 码轮廓左上角的顶点、左下角顶点、右下角顶点、右上角的顶点分别为 c_0 、 c_1 、 c_2 、 c_3 及 c_0 与 c_3 点的中点横坐标值 x ;

(II)自点 $(x, 0)$ 开始,从上往下扫描 AR 码二值化图像上的像素,记第一次扫描到像素值为 0 时的点的纵坐标为 y_0 ,将 y_0 与 c_0 点和 c_3 点处的纵坐标值进行比较, y_0 大于 c_0 点与 c_3 点处纵坐标的最大值,则 c_0 、 c_3 所对应的处于图像的最上端的边即为凹弧边,且处于图像的最下端的边一定是与凹弧边对应的凸弧边,否则逆时针旋转图像,用同样的方法继续检测,当旋转 3 次之后还不成立则该区域内没有带弧边的码.

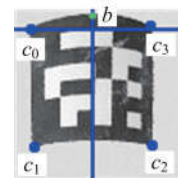


图 6 弧边检测示意图

Fig.6 Arc detection

经过以上弧边检测算法,检测到弧边之后同时也将凹弧边做了朝上的旋转,如图 7 所示,使得后续处理更加方便.

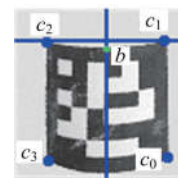


图 7 逆时针旋转两次后示例图

Fig.7 Counterclockwise rotate twice

2.2.2 拉直弧边

经过弧边检测后的图像,需要对其进行修正,使其成为一个标准的正方形,即要对其进行弧边拉直操作.本算法中,共分为凹弧边拉直和凸弧边拉直两步,其中,凹弧边拉直采用的是每一像素列上拉距离算法,上拉距离可按按下式求得.

$$l_i = y_0 - y_i \quad (1)$$

式中, y_0 为上凹弧边 2 个顶点的最小纵坐标值, y_i 为从上到下, 以一个像素为步长, 连续扫描第 i 列得到的像素灰度值为 0 的点的纵坐标, l_i 为第 i 列像素向上位移的距离。

按照公式(1)确定每一列像素向上位移的距离, 遍历整个图像, 可将凹弧边拉直, 如图 8 所示。



图 8 拉直凹弧边

Fig.8 Straighten concave edge

拉直凸弧边采用的是局部自适应压缩算法, 如下式所示。

$$\left. \begin{aligned} M - S &= k \\ M/k &= p \\ m \bmod p &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中, S 为上凹弧边 2 个顶点的最小纵坐标值, M 为每一个像素列的一个高度值, 即从上到下, 以一个像素为步长, 连续扫描得到像素灰度值为 0 的点的纵坐标值与公式(1)中的 y_0 做差, m 为将被抽掉的点。

对图像按照单位像素步长使用公式(2)进行像素抽取, 同时将后面的所有像素上移填补间隙, 遍历整个图像后, 该图像中的凸弧边被拉直, 得到一个轮廓为矩形的修正二值化图像, 如图 9 所示。



图 9 拉直凸弧边

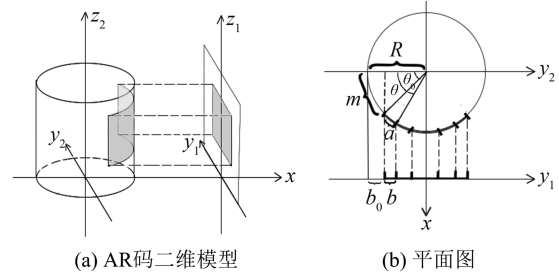
Fig.9 Straighten convex edge

3 AR 码识别

经过弧形修正滤波算法处理之后的 AR 码矩形图像, 表示不同编码的小矩形的长和宽分别发生变化, 因此无法使用等距离划线方法对 AR 码进行分割, 导致无法利用像素值统计方法对 AR 码编码进行识别. 本文采用一种非线性分割算法对产生畸变

的 AR 码图像进行分割, 然后采用像素值统计法读取信息。

柱面 AR 码的二维平面图的模型, 如图 10(a) 所示, 向 y_2 轴和 x 轴所在平面方向做投影, 可得到如图 10(b) 所示的俯视图。



(a) AR 码二维模型

(b) 平面图

图 10 柱面 AR 码模型

Fig.10 Cylindrical AR code model

根据弧长和三角函数计算公式, 有

$$m = R\theta_0 \quad (3)$$

$$\cos\theta_0 = \frac{R - b_0}{R} \quad (4)$$

$$m + a = R\theta \quad (5)$$

式中, R 为圆柱半径, m 为 AR 码边偏离 y_2 轴的弧长, b_0 为 AR 码在 y_1, z_1 平面内的投影长, θ_0 为该弧长对应的圆心角, a 为二维码上任意长度, θ 为弧 $a + m$ 对应的圆心角, 则 $\theta - \theta_0$ 为该弧长对应的圆心角, b 为弧 a 在 y_1, z_1 平面上的投影。

联立公式(3)~(5), 可得

$$\cos\theta = \frac{R - b - b_0}{R} \quad (6)$$

联立公式(3)~(6), 可得

$$b = \left(\cos \frac{m}{R} - \cos \frac{a+m}{R} \right) R \quad (7)$$

对公式(7)进行 2 阶泰勒展开近似得

$$b = R \left(\cos \frac{m}{R} - 1 \right) + \frac{R}{2} \left(\frac{a+m}{R} \right)^2 \quad (8)$$

由公式(8)可得到贴在圆柱面上的 AR 码与捕获的平面图像之间是二次方程关系。

由于在实际应用中, 无法做到实时给出圆柱半径 R 和偏移量 m , 因此本算法采用抛物线上两个已知的点 (x_0, y_0) , (x_1, y_1) 来求出 R 和 m . 为方便计算, 将所有未知常量简化为 n, k, l , 简化后的抛物线方程为

$$y = nx^2 + kx + l \quad (9)$$

为进一步简化, 在图 10(b) 中, 观看圆柱上的 AR 码时把 AR 码的一条边旋转到与 x 轴相切, 这

样抛物线的顶点一定在 AR 码的最后一条边或第一条边上,对公式(9)求导后令其等于零,且将 $(x_0, y_0), (x_1, y_1)$ 带入公式(9)得到

$$y_0 = nx_0^2 + kx_0 + l \quad (10)$$

$$y_1 = nx_1^2 + kx_1 + l \quad (11)$$

$$2nx + k = 0 \quad (12)$$

未知常量 n, k, l 的值可由公式(10)~(12)求解得到.因此可得

$$Y = nX^2 + kX + l \quad (13)$$

式中, X 为行数, Y 为对应行数的宽度值.根据公式(13)可以对经过弧形修正滤波之后的 AR 码进行非线性划线分割.

4 实验结果及分析

本算法在 Windows7 64bit 系统上,以 Visual Studio 2015 和 OpenCV 为开发工具,进行编写.

在本算法的实验中,将粘贴于柱面上的 AR 码固定在转台上,并固定摄像头的位置,如图 11 所示.通过旋转转台来拍摄不同角度的 AR 码图像.本次实验分别对转台进行水平与垂直两个方向的旋转,每次旋转 2° .表 1 展示了经典 AR 码编码方法获得的 AR 码图像(18×18 毫米)在未经过弧形修正滤波算法和非线性划线识别算法的情况下,可识别的最大角度.



图 11 实验装置

Fig.11 Experimental set-up

表 1 经典 AR 码识别方法可识别角度

Tab.1 Angle identified by the classic AR code identification method

柱面半径/mm	水平旋转角度/ $^\circ$	垂直旋转角度/ $^\circ$
16	20	18
30	24	10

4.1 水平方向

以尺寸为 18×18(单位:毫米)的 AR 码图像粘贴于半径约为 16 毫米的柱面上为例, ID 为 110,将

提取出来的二维码归一化到一个 80×80 的像素中,每一行每一列归一化后的宽度为 10 个像素,每水平旋转 2° 对图像进行拍摄.

图 12(a)~(e)所示为 $0^\circ, 12^\circ, 24^\circ, 36^\circ, 46^\circ$ 拍摄图像.由图片可以看出,随着角度的增大,AR 码图像产生畸变的程度也随之增大.

对图像进行弧形修正滤波处理,图 13(a)~(e)为 $0^\circ, 12^\circ, 24^\circ, 36^\circ, 46^\circ$ 图像经过滤波之后的修正图像,将产生柱面畸变的 AR 码修正成基本满足透视变换的平面二维码形态,但是黑白矩形的间隔不再是等距的,接着利用非线性分割算法对修正图像进行非线性分割.

图 14(a)~(e)为对 $0^\circ, 12^\circ, 24^\circ, 36^\circ, 46^\circ$ AR 码图像进行非线性划线分割,表 2、表 3 分别为不同角度下拍摄图像中 X、Y 方向每一行码之间的间隔,由表 2、3 可看出,水平方向旋转一定角度拍摄图像, X 轴方向上,每行码之间的间隔变化不大, Y 轴方向上,每行码之间间隔发生较大畸变,且以 10 为分界线,所有间隔与 10 的差值累加和恰好为 0,保证了划线区域不会超出归一化后二维码的大小.此时利用像素值统计方法读取 AR 码编码.



图 12 不同角度 AR 码拍摄图像

Fig.12 The AR code at different angles



图 13 弧形修正滤波效果

Fig.13 Arc correction filter effect

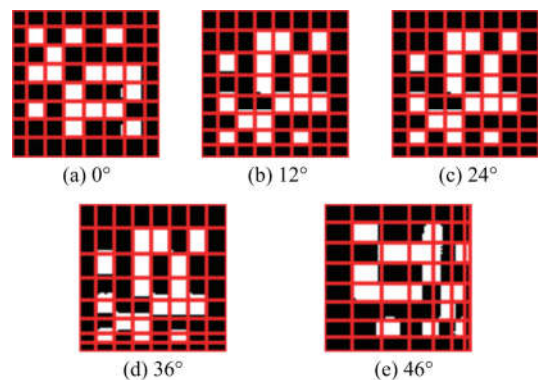


图 14 非线性划线分割效果

Fig.14 Non-linear scribe segmentation effect

表 2 水平方向旋转 X 方向间隔

Tab.2 X-direction interval when horizontal rotation

0°	8°	16°	24°	32°	40°
10	8	8	9	9	9
12	11	10	10	10	10
11	11	10	10	10	10
11	11	11	10	10	10
10	11	11	10	10	10
10	11	11	10	10	10
9	11	11	10	10	10
7	6	8	11	11	11

表 3 水平方向旋转 Y 方向间隔

Tab.3 Y-direction interval when horizontal rotation

0°	8°	16°	24°	32°	40°
9	9	9	11	12	14
10	10	10	12	13	15
10	10	10	12	13	14
10	10	10	11	12	12
10	10	10	10	10	10
10	10	10	9	9	7
10	10	10	8	6	4
11	11	11	7	5	4

由图 14(e)可以看出,由于经过滤波修正以及非线性分割之后的图像依旧无法读出正确的定位标识符,进而无法正确读出 AR 码所代表的正确编码信息.

以上所述实验结果表明,本算法可以识别 $\pm 44^\circ$ 水平旋转角度后拍摄的产生柱面畸变 AR 码图像.

4.2 垂直方向

在垂直方向上每隔 2° 旋转转台拍摄图像,并对图像进行滤波与划线处理,实验结果表明在 X 轴方向上每行码位的间隔发生较大畸变,本算法可识别 $\pm 20^\circ$ 旋转角度后拍摄的产生柱面畸变 AR 码图像.

5 结论

本文提出了一种基于弧形滤波算法的柱面 AR 码的识别方法,同时通过添加定位标识符的方法改进了 AR 码的编码,降低了确定 AR 码正确识读方向的难度.从实验结果来看,该方法可实现水平旋转 $\pm 44^\circ$ 垂直旋转 $\pm 20^\circ$ 范围内的柱面 AR 码识别.与经典识别方法相比,该算法可识别更大畸变程度的柱面 AR 码图像,为增强现实系统与空间视觉定位系统的实际应用提供了更加可靠的 AR 码识别方法,增强了系统适应性.当旋转角度超出这个范围之后,柱面 AR 码畸变十分严重,该方法的识别效果明显减弱,因此本文的下一步工作是研究更大畸变程度的 AR 码识别方法,实现更大视角的 AR 码识别.该方法还可进一步应用到其他二维码的识别中去.

参考文献(References)

- [1] AZUMA R T. A survey of augmented reality[J]. Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 1997, 6(4): 355-385.
- [2] AZUMA R, BAILLOT Y, BEHRINGER R, et al. Recent advances in augmented reality [J]. IEEE Computer Graphics & Applications, 2001, 21(6): 34-47.
- [3] 朱森良,姚远,蒋云良.增强现实综述[J].中国图象图形学报,2004,9(7):767-774.
- [4] 陈靖,王涌天,闫达远.增强现实系统及其应用[J].计算机工程与应用,2001,37(15):72-75.
- [5] 刘烽杰,蔡明.柱面 QR 码的识别及实现[J].计算机与现代化,2015,(2):110-112.
- [6] 史志锋.基于三维透视变换的圆柱面 QR 码识别方法[J].现代电子技术,2014(8):15-18.
- [7] 司国东,陈仲.柱面二维码识别算法的设计与实现[J].现代计算机,2013,(8):25-27.
- [8] 吕淘沙,汤汶,万韬阮,等.增强现实中的目标远距离识别方法研究[J].软件工程师,2015(4):7-8.
- [9] 袁理,叶露,贾建禄.基于 Hough 变换的椭圆检测算法[J].中国光学,2010,3(4):379-384.