



NUAA2011039799

Z427
1033 (2010) - (42)

计算机科学与技术学院



42

2011039799

计算机科学与技术学院2010年发表论文目录

序号	姓名	单位	职称	论文题目	刊名	发表时间	类别
1	刘宁钟 尤海英 孙涵	043 043 043	副高 硕高 副教	基于手机平台的Data Matrix2维条码识别	中国图像图形学报	2010年15卷2期	
2	刘宁钟 孙涵	043 043	副高 副教 授	Recognition of the stacked two-dimensional bar code based on iterative deconvolution	The Imagine Science Journal	2010年58卷2期	
3	宋江敏 徐敏	043 043	硕高 副高	A Text Feature Selection Method Using TFIDF Based on Entropy	Proceeding of the 9th International FLINS Conference	2010	
4	褚一帆 徐敏	043 043	硕高 副高	A Solution to Deadlock in Implementing Synchronizing Merges of Workflow	The IMS2010 International Conference	2010	
5	褚一帆 徐敏	043 043	硕高 副高	A General solution for implementing synchronizing merges in unstructured workflow process	Proceeding of the 9th International FLINS Conference	2010	
6	徐敏 褚一帆	043 043	副高 硕高	A NEW SEARCH ENGINE MODEL BASED ON MEDIUM LOGIC	Proceedings of the 9th International FLINS Conference	2010	
7	徐敏	043	副高	Process Migration in Dynamic Changes of Workflow Process Models	The IMS2010 International Conference	2010	
8	陈兵 燕雪峰	043 043	正高 副高	A Subnet Handover Scheme Based Communication System of Subway	Conference article	2010年431-432卷	
9	陈兵	043	正高	An Extended Role-Based Access Control Model for CSCW Systems	Key Engineering Materials	2010年431-432卷	
10	赵立芳 陈兵	043 043	硕高 教授	高速移动环境下IEEE 802.11 MAC层切换方案	应用科学学报	2010年28卷2期	
11	袁媛 陈兵	043 043	硕高 教授	基于先验知识的多类CVM航班延误预警模型	吉林大学学报(工业版)	2010年40卷3期	
12	钱红燕 陈兵 秦小麟	043 043 043	中副 副教 教授	A novel Energy-efficient Clustering Protocol Based on Specific Location	The 1st International Conference on Wireless Communications and Signal Processing	2010	
13	钱红燕 陈兵 秦小麟	043 043 043	中副 副教 教授	A Dual-Soft-Handoff Scheme for Fast Seamless Roaming in WLAN	NSWCTC 2010-The 2nd International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing	2010年2卷	
14	钱红燕 陈兵 秦小麟	043 043 043	中副 副教 教授	A novel mobility management protocol supporting network seamless roaming	Journal of Networks	2010年5卷3期	
15	夏正友	043	副高	The Role of Belief in the Emergence of Social Conventions in Artificial Social System	Advanced Materials Research	2010年159卷	
16	张红明 夏正友	043 043	硕高 副高	A kind of constrained inferring model in siguo	CNIC2010	2010年159卷	
17	牛耘 David Otasek Igor Jurisica	043	副研 研高 研究员	Evaluation of linguistic features useful in extraction of interactions from PubMed: Application to annotation known, high-throughput and predicted interactions in 12D	Bioinformatics	2010年26卷1期	
18	黄元元 刘宁钟	043 043	副高 副高	利用特征点平均锯齿特征的商标图像检索	中国图像图形学报	2010年15卷4期	
19	黄元元 刘宁钟	043 043	副高 副高	利用特征点平均锯齿特征检索二值商标图像	小型微型计算机系统	2010年31卷4期	
20	张德平	043	中副	划分测试用例选择的风险决策方法	计算机应用研究	2010年27卷12期	

21	单志辉 刘学军 吕宏强	043 043 043	硕副 士教 授	高斯过程回归在翼型气动性能快速评估中的应用	第四届中国航空学会青年科技论坛	2010	
22	金圣华 刘学军 张礼	043 043 043	硕副 士教 授	Affymetrix 基因芯片原始数据噪声分析与应用	中国生物医学工程学会成立30周年纪念大会暨2010 中国生物医学工程学会学术大会	2010	
23	刘学军 Magnus Ratray	043 英国谢菲 尔德大学	副高 教授	Including probe-level measurement error in robust mixture clustering of replicated microarray gene expression	Statistical Applications in Genetics and Molecular Biology	2010年9卷1期	
24	戴群	043	副高	The Build of a Dynamic Classifier Selection ICBP System and its Application to Pattern Recognition	Neural Computing and Applications	2010年19卷1期	
25	胡彩平 秦小麟	043 043	副高 教授	局部空间离群点算法的改进及其实现	中国图像图形学报	2010年15卷10期	
26	胡彩平 秦小麟	043 043	副高 教授	一种基于密度的局部离群点检测算法 DLOF	计算机研究与发展	2010年47卷12期	
27	李博涵 刘亚丽 张海滨 秦小麟	043 043 043 043	博后 士工 程	典型曲面感知的受限查询算法研究	中国计算机图形学大会论文集	2010年10月	
28	胡庆强 谢秋林	043 043 043	硕副 士教 授	GA-BP算法在电信供应链库存控制中的应用	中国制造业信息化	2010年39卷23期	
29	王艳敏 谢秋林	043 043 043	硕副 士教 授	基于本体和Web Services的数据交换平台	计算机技术与发展	2010年20卷5期	
30	安峰 谢秋林	043 043 043	硕副 士教 授	基于Ontolog的专家系统研究	计算机工程	2010年36卷13期	
31	张颖颖 谢秋林	043 043 043	硕副 士教 授	基于同义词链的中文关键词提取算法	计算机工程	2010年36卷19期	
32	陈小燕 谢秋林	043 043 043	硕副 士教 授	浅谈项目式教学中网页设计与制作中的应用	电脑学习	2010年1期	
33	董凤春 谢秋林	043 043 043	硕副 士教 授	基于网格技术的医保系统资源管理模型研究	中国制造业信息化	2010年39卷21期	
34	陈阳平 高亮琛 王琛强 谢秋林	043 043 043 043	硕硕 士士 教教 授授	直升机数字样机区域上下文设计方法研究	中国机械工程	2010	
35	徐敏 谭文安	043 043	硕正 士高	面向软件系统的指令时序建模与分析方法	计算机与数字工程	2010年11期	
36	张婷 谭文安	043 043	硕正 士高	Role-Based Dynamic Access Control for Web Services	ICCASM2010	2010. 1	
37	张志林 谭文安	043 043	硕正 士高	An Architecture of Service Computation Platform Supporting Business Cooperation Based on Extented Enterprise Process Cooperative Model	International Conference on Services Science, Management and Engineering	2010. 12	
38	谭文安 张志林	043 043	正硕 高士	Design on an Enterprises Process Cooperative Model	ICPCA2010, 12, 1-3	2010	
39	蒋琳 谭晓阳 刘俊	043 043 043	硕教 士授 副	稀疏低秩双线性判别模型及应用	计算机科学与探索	2010年4卷7期	
40	谭晓阳 李翼俊 刘俊 蒋琳	043 043 043 043	正硕 高士 教授	Face Liveness Detection from A Single Image with Sparse Low Rank Bilinear Discriminative Model	Proceedings of 11th European Conference on Computer Vision	2010年6卷	
41	谭晓阳 Bill Triggs	043	正高 教授	Enhance Local Texture Feature Sets for Face Recognition under Difficult Lighting Conditions	IEEE Transaction of Image Processing	2010年19卷6期	

42	朱占宇 杨群皮 黄德常	043 043 043	硕 副 教 授	Past, Current and Future Positions Index of Moving Objects in Networks	CCCM 2010	2010年4卷	
43	黄鹏飞 张道强	043 043	硕 教 授	Locality sensitive C-means clustering algorithms	Neurocomputing	2010年73卷16- 18期	
44	孙丹 张道强	043 043	硕 教 授	Bagging constraint score for feature selection with pairwise	Pattern Recognition	2010年43卷6期	
45	彭岩 张道强 张建春	043 043 043	硕 教 授 硕 士	A New Canonical Correlation Analysis Algorithm with Local Discrimination	Neural Processing Letters	2010年31卷1期	
46	张建春 张道强	043 043	硕 教 授	Canonical random correlation analysis	ACM Symposium on Applied Computing	2010	
47	张道强	043	正 高	Knowledge preserving embedding	山东大学学报(工业 版)	2010年40卷2期	
48	吴遐 张道强	043 043	硕 教 授	半监督图核降维方法	计算机科学与探索	2010年4卷7期	
49	邓红 陈丹 周方	043 043 043	硕 副 教 授	基于贝叶斯网络的多主题对话管理方法 研究	第十五届全国青年通信 学术会议	2010	
50	朱建凯 郑洪源 丁秋林	043 043 043	硕 副 教 授	基于Visual C++客户端程序自动更新的 应用研究	计算机应用与软件	2010年27卷2期	
51	徐凯平 郑洪源 丁秋林	043 043 043	硕 副 教 授	一种基于LSB和PVD的图像信息隐藏方法 研究	计算机应用研究	2010年27卷3期	
52	樊金健 周良	043 043	硕 副 教 授	基于活动和路由的工作流系统研究与实 现	中国制造业信息化	2010	
53	陆晓燕 周良 丁秋林	043 043 043	硕 副 教 授	基于组合分类器的相关反馈算法研究	计算机科学	2010年37卷5期	
54	余强 周良 丁秋林	043 043 043	硕 副 教 授	基于用户浏览行为的用户模型调整算法 研究	计算机与数字工程	2010年11期	
55	李 静	043	副 教 授	A detailed design model based on trust chain for seam tracking system of gas metal arc welding	ICISE2010	2010. 12	
56	张敏 李静	043 043	硕 副 教 授	一种采用数学形态学与主动轮廓模型的 熔池边缘提取方法	电焊机	2010年40卷12 期	
57	钱国忠 许峰	043 043	硕 副 教 授	基于遗传算法对LEACH协议的改进	第25届南京地区研究生 通信年会	20100	
58	黄娟 许峰 黄海	043 043 043	硕 副 教 授	基于跟踪的角色访问控制	南通大学学报(自然科 学版)	2010年9卷3期	
59	刘正涛 毛宇光 王建东 叶传标	043 043 043 043	博 副 教 授 教 授	基于角色的层次受限委托模型	电子科技大学学报	2010年39卷1期	
60	董洁 贺红卫 耿鸿月 毛宇光	043 043 043 043	硕 研 究 员 工 程	嵌入式数据库测试技术的研究	计算机工程与设计	2010年31卷12 期	
61	王施人 陕振 张淑萍 毛宇光	043 043 043 043	硕 工 程 师 研 究 员	基于iSCSI存储集群的设计与实现	计算机工程与设计	2010年31卷11 期	
62	翟志刚 毛宇光 王建东	043 043 043	博 副 教 授 教 授	UCON _{GM} 模型的安全研究	四川大学学报(工程科 学版)	2010年42卷1期	
63	闫艳 沈国华 黄志球	043 043 043	硕 副 教 授 教 授	Using Description Logics Reasoner for RBAC Authorization	2010 2nd International Conference on Multimedia and Computational Intelligence (ICMCI 2010)	2010	

64	杨琳琳 周勇	043 043	硕 士 副	利用分布式时序逻辑形式化分析 IEEE802.11i协议	南通大学学报(自然科学版)	2010年9卷3期	
65	翟志刚 王建东	043 043	博 士 教 授	Information Flow Analysis of Open Internet Environment	International Conference on Services Science, Management and Engineering	2010	
66	刘小飞 顾彬东 王建东	043 043 043	硕 士 博 士 教 授	基于最小闭包球的排列算法	计算机科学	2010年37卷12A 期	
67	朱新峰 王建东 李斌 姜坚	043 043 扬州大学 043	博 士 教 授 教 授 博	Several Kernel Methods for the Simultaneous Prediction of Aromatic Amino Acids in Mixtures	journal of computational informational system	2010年6卷12期	
68	王平水 王建东 朱新峰 姜坚	043 043 043 043	博 士 教 授 博 士 博	Research on Privacy Preserving Data Mining	国际计算通信控制与管理 (CCCM2010)	2010	
69	王平水 王建东	043 043	博 士 教 授	Personalized Anonymity Algorithm Based on Clustering Techniques	journal of computational informational	2010年6卷12期	
70	王平水 王建东	043 043	博 士 教	匿名化隐私保护技术研究进展	计算机应用研究	2010年27卷6期	
71	潘锋 王建东 林晓辉	043 043 深圳大学	博 士 教 授 教	Unsupervised Feature Ranking via Spectral Analysis	全国模式识别学术会议 (CCPR2010)	2010	
72	荣耀东 王建东 徐涛	043 043 中国民航 大学	博 士 教 授 教	A flight delay prediction model with consideration of cross-flight plan awaiting resources	Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Advanced Computer Control (ICACC2010)	2010	
73	荣耀东 王建东 徐涛	043 043 中国民航 大学	博 士 教 授 教	Research of a Generalized Object- oriented Dynamic Modeling Mechanism of Enterprise Application Software Platform	Proceedings of the International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM	2010	
74	荣耀东 王建东 徐涛	043 043 中国民航 大学	博 士 教 授 教	Design and Implementation of a Novel General-purpose Enterprise Application Query Platform	Proceedings of the International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM	2010	
75	丁卫平 王建东 朱浩 管致锦 施全	043 043 043 南通大学 南通大学	博 士 教 授 博 士 教 授 副	A Novel Hybrid Approach for Incomplete Knowledge System Mining Based on Approximation Rough Entropy Lattice	Journal of Computational Information System	2010年6卷5期	
76	丁卫平 王建东 管致锦 朱浩	043 043 南通大学 043	博 士 教 授 教 授 博	一种基于变精度阈值的可拓熵不完备系 统属性约简算法	小型微型计算机系统	2010年31卷12 期	
77	潘锋 王建东 林晓辉	043 043 深圳大学	博 士 教 授 教	Local margin based semi-supervised discriminant embedding for visual recognition	Neurocomputing	online 15 December 2010	
78	朱新峰 王建东 李斌 姜坚	043 043 扬州大学 043	博 士 教 授 教 授 博	Using Multivariate Regression Methods to Resolve Overlapped Electrochemical Signals	International Journal Digital Content Technology and its Applications	2010年12期	
79	荣耀东 王建东 徐涛	043 043 中国民航 大学	博 士 教 授 教	Research of a novel general-purpose enterprise application business infrastructure software platform	Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Advanced Computer Control (ICACC 2010)	2010	

基于手机平台的 Data Matrix 2 维条码识别

刘宁钟 尤海英 孙 涵

(南京航空航天大学信息科学与技术学院, 南京 210016)

传统的条码图像采集和识别是通过工业扫描枪。近年来,随着移动增值业务和 3G 技术的发展,2 维条码在设备的应用中得到飞速发展。以 Data Matrix 为例,研究了基于嵌入式手机设备的 2 维条码识别技术。首先分析了 Data Matrix 条码的特点,给出了一种基于链码跟踪和线段检测的快速 Data Matrix 检测算法。接着分析了条码在透视畸变下的降质模型,并扩展函数卷积后的降质模型,并利用维纳滤波对条码信号进行反模糊滤波。最后,针对透视畸变的现象,设计了一种适合于嵌入式手机设备的快速反透视算法。实验结果表明,提出的识别算法具有优秀的性能,显著提高了条码的识别率,满足了实际使用的要求。

关键词: 2 维条码 手机 Data Matrix 反模糊 反透视变换

中图分类号: TP391.4 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)02-0287-07

Recognition of Data Matrix Two-dimensional Bar Code Based on Mobile Phones

LIU Ning-zhong, YOU Hai-ying, SUN Han

College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016

Traditionally, bar codes are captured and recognized by industrial scanner. In recent years, with the development of mobile value-added services and 3G technology, the application of two-dimensional bar codes in mobile phones is researched rapidly. Taking Data Matrix as an example, the recognition technology of the two-dimensional bar code for mobile phones is researched in this paper. First, a fast bar codes detection algorithm based on chain code tracing and line segment detection is proposed according to the character of Data Matrix. Then the model of blurred bar code signal caused by perspective distortion is analyzed, and Wiener filter is used to recover the signal. At last, aiming at perspective distortion, a fast inverse perspective transformation algorithm is designed, which is suitable for embedded mobile phones. The experimental results show that the performance of the algorithm proposed in this paper is excellent. It has a higher recognition rate and faster speed, which suffices to the requirement of the practical use.

关键词: two-dimensional bar code, mobile phone, data matrix, deblur, inverse perspective transformation

是矩阵式 2 维条码,它以矩阵的形式组成,在矩阵元素位置上用明暗的灰度变化表示“1”或“0”。具有代表性的矩阵式 2 维条码有:Data Matrix, QR Code, Maxi Code 等。

近年来,手机的功能已经超出简单的语音通信终端,成为一个嵌入式的智能平台。手机可以作为

拓展了条码的应用领域。2 维条码具有信息量大、可靠性高、保密防伪性强等优点^[1]。目前,较常用的一种

基金项目:60903104;江苏省自然科学基金项目(BK2007588)

收稿日期:2009-11-02

刘宁钟(1975—),男,副教授。2003 年于南京理工大学计算机系获模式识别与智能系统专业博士学位。主要研究方

向:模式识别。E-mail:LiuNZ@163.com

2 维条码的一种便携式阅读器,结合短信、彩信以及 3G 服务,开发出许多崭新的应用。手机 2 维条码已经成为一个新兴的移动增值业务,现在已经应用于防伪、电子票务、移动支付、商品流通、身份认证、市场宣传等领域^[2-3]。

本文以手机 2 维条码的识读应用为基础,对基于嵌入式手机平台的 2 维条码识别算法进行研究。研究条码识别,要以一种编码体系为例。Data Matrix 条码是目前在欧美应用最为广泛的 2 维条码,中国的诸多行业也开始采用 Data Matrix 条码。本文以 Data Matrix 条码为例研究 2 维条码的识别技术。提出的方法和思想略加修改同样也适用其他协议的 2 维条码,如 QR Code, 汉信码, 龙贝码。

如图 1 所示,每个 Data Matrix 符号由规则排列的方形模块构成的资料区组成,资料区的四周由定位图形所包围。定位图形左边和下边的两条邻边为黑实线,形成“L”形的定位图形。右边和上边条邻边由交替的黑白模块组成,具体结构请参看 Data Matrix ISO 国际标准^[4]。

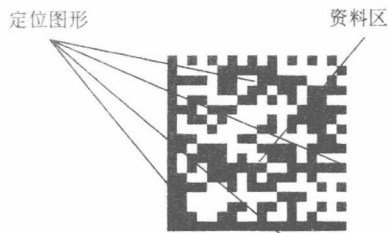


图 1 Data Matrix 码结构

Fig. 1 The structure of Data Matrix code

由于受手机摄像头和实际采集环境的限制,采集的图像往往存在透视畸变、模糊等现象,质量并不令人满意。为此针对嵌入式手机平台,设计了一套有效的识别算法,主要解决 3 个问题。

1) 条码检测。条码往往是和文本或者其他图案混合在一起的,因此,在识别条码前必须滤掉图像的文本和其他图案,检测出条码的位置。传统的 2 维条码检测算法往往基于区域特征分析或 Hough 变换^[3,5],但嵌入式手机平台的 CPU 处理能力较弱,这些算法无法实时实现。本文提出一个适合嵌入式手机平台的实时条码检测算法。

2) 反模糊处理。条码图像在采集的过程中会受到摄像头的对焦不准的影响,使所获得的图像模糊退化。针对信号退化问题,学者们已经进行了一

些研究。Joseph 等人计算点扩展函数的方差,对条码边界进行补偿^[6],Turin 等人把基于期望最大算法的反降晰技术应用于条码的识别^[7],Kresic 等人用隐 Markov 模型处理退化的条码信号^[8],Liu 等人运用傅里叶变换处理观测数据^[9]。然而这些方法都是基于 1 维条码,不适用于矩阵型 2 维条码。本文针对 2 维条码,设计了一种退化函数参数估计算法和反模糊算法。

3) 反透视变换。由于用手机捕获条码图像时,无法固定拍摄的角度,因此,存在透视畸变。经反透视变换需要用到大量的浮点运算^[2,5],在手机上实现速度较慢。本文结合 2 维条码的特点,设计一种快速的反透视校正算法。

1 条码检测

传统的基于区域特征分析或 Hough 变换 2 维条码检测算法无法在嵌入式手机平台实时实现。本文结合 Data Matrix 条码的结构,采用基于链码跟踪找直线的检测算法,该算法主要有 3 个步骤完成:

1) 边缘检测和链码跟踪

首先采用 Sobel 算子来实现边缘检测,该算子简单快速,能够满足实时的需求并能一定程度上抑制图像噪音。得到了边缘信息之后就可以进行链码跟踪。每条链码表示为 $x, y, c_1, c_2, \dots, c_n$, 其中 (x, y) 为链码起始位置, c_i 为跟踪方向,一般取 8 方向链码跟踪。

2) 在链码中寻找直线段

为去除噪音对直线检测的影响,对步骤 1) 得到的链码进行平滑,然后按如下准则寻找直线段:

如果存在某一方向 c_i 的持续长度超过了 T (T 为给定的一个阈值)则认为存在一条直线段。

如果存在一段链码,并且只有邻近方向的链码交替出现,那么把这样的一段链码进行首尾连接得到一条直线段 L 。同时再考虑,如果这段链码上各点到直线 L 的最大距离小于 D (D 为给定的距离阈值)则认为这段链码也组成一条直线。

3) 根据直线段寻找定位图形

在步骤 2) 直线段内,寻找 Data Matrix 条码的定位图形,即“L”形边界。对检测到的直线段中采用以下 3 条准则判断是否为条码的“L”定位图形。

(1) Data Matrix 条码的“L”形定位图形由 5 条

单,只有两个灰度值。用一条水平线扫描条码获得一行信号,如图3(a)所示。理想情况下,所获得的边缘信息为阶跃信号,如图3(b)中的虚线所示。但是实际的模糊图像中,由于退化函数的卷积作用,边缘不是理想的阶跃形式,而是表现为一种渐变的变化,如图3(b)中的实线所示。

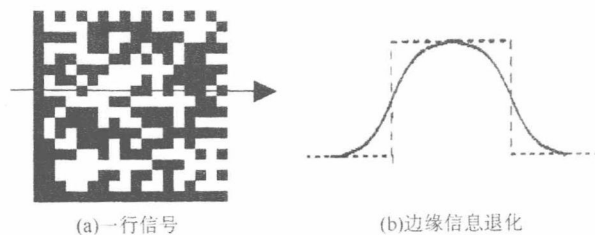


图3 条码信号

Fig. 3 The bar code's signal

Data Matrix 条码的“L”形竖边黑白交界处左边的像素为白,右边的像素为黑^[4],故“L”形附近信号 $f(x,y)$ 仅由 x 坐标决定。因此“L”形附近信号 $f(x,y)$ 可以用 1 维函数 $f_0(x)$ 表示:

$$f_0(x) = \begin{cases} 1 & x < x_0 \\ 0 & x \geq x_0 \end{cases} \quad (3)$$

式中, x_0 为“L”形竖边黑白交界处的横坐标。同时“L”形足够长,远大于高斯模糊函数方差,并且由式(2)可知,高斯模糊函数是可分离的:

$$h(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

因此,对于“L”附近的信号,可以简化为 1 维的高斯退化模型,可将式(1)表示为

$$g_0(x) = f_0(x) * h_0(x) \quad (5)$$

其中

$$h_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

由卷积微分性质,可知 $g_0(x)$ 的 1 阶导数为

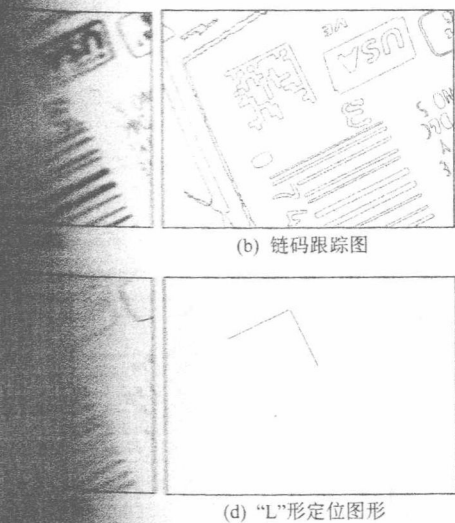
$$g_0'(x) = [f_0(x) * h_0(x)]' = h_0(x) * f_0'(x) \quad (7)$$

而 $f_0(x)$ 为阶跃函数,其 1 阶导数为

$$f_0'(x) = \delta(x - x_0) \quad (8)$$

式中 $\delta(x)$ 为 1 维狄拉克(Dirac)冲激函数^[11],并结合冲激函数的筛选性可得^[11]:

条码的“L”形长宽比不超过... 两直线段长度比例在 1 至 5 之间。... 以上 3 条准则的两条直线段作为候选... 过滤其他不符合条件的直线段。... 图 2(b) 为链码跟踪后的图像, ... 图 2(d) 为根据三条... 形定位图形。检测得到“L”形后, ... 4 个顶点,得到条码在图像中的



(d) “L”形定位图形

条码检测过程

Process of the bar code

高斯模糊处理

有时候聚焦不准会导致图像... 图像 $g(x,y)$ 是原始图像... $f(x,y)$ 的卷积^[10]:

$$g(x,y) = \int \int f(\alpha,\beta) h(x-\alpha,y-\beta) d\alpha d\beta \quad (1)$$

其中 $h(x,y)$ 为高斯点扩展函数^[6,10]

$$h(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}\right] \quad (2)$$

方差。现有的增强方法... 应用于矩阵型 2 维条码。... 分析 Data Matrix 条码信

$$h_0(x) * f_0'(x) = h_0(x) * \delta(x - x_0) = h_0(x - x_0) \quad (9)$$

故

$$g'_0(x) = h_0(x - x_0) = -\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x - x_0)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (10)$$

由上式不难得到,当 $x = x_0$ 时, $g'_0(x)$ 绝对值最大, 为 $|g'_0(x_0)| = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}$, 即

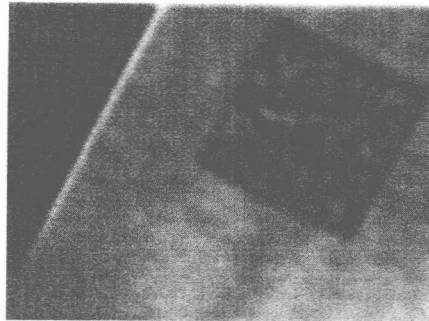
$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2\pi}|g'_0(x_0)|} \quad (11)$$

因此,可以按 $g'_0(x)$ 绝对值最大的原则来寻找 x_0 的位置,然后按式(11)计算便可得到 σ 。

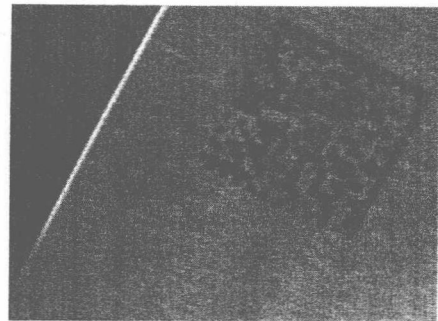
2.2 维纳滤波反模糊

得到了 σ 的值之后,对退化图像进行复原处理,采用维纳滤波^[10]:

$$\hat{F}(u, \nu) = \frac{(H(u, \nu))^*}{|H(u, \nu)|^2 + \frac{|S_n(u, \nu)|}{|S_f(u, \nu)|}} |G(u, \nu)| \quad (12)$$



(a) 退化图像



(b) 复原后图像

图 4 Data Matrix 反模糊处理

Fig. 4 Deblurring processing of Data Matrix bar code

3 反透视校正处理

当采用手机拍摄图像过程中,摄像头轴心无法保证和条码平面垂直,这样得到的图像往往是具有透视效果的,所以,识别前需要对图像进行反透视校正处理。

一般地,对于失真图像中一点 (x, y) ,经典的反透视变换算法通过式(13)得到反透视校正后的坐标^[2, 11]

$$u = \frac{Ax + By + D}{Mx + Ny + 1} \quad \nu = \frac{Ex + Fy + H}{Mx + Ny + 1} \quad (13)$$

式中, $H(u, \nu)$ 是退化函数 $h(x, y)$ 的傅氏变换, $(H(u, \nu))^*$ 是 $H(u, \nu)$ 的复共轭, $S_n(u, \nu) = |N(u, \nu)|^2$, $S_f(u, \nu) = |F(u, \nu)|^2$, 其中 $F(u, \nu)$ 、 $N(u, \nu)$ 是原始图像 $f(x, y)$ 和图像噪声 $n(x, y)$ 的傅氏变换。

$\frac{S_f(u, \nu)}{S_n(u, \nu)}$, 即信噪比,但通常这两个值难于得到,有一种方法可以近似估计图像信噪比,即信号与噪声的方差之比^[10]。首先计算图像所有像素的局部方差,将局部方差的最大值认为是信号方差,最小值是噪声方差。

得到信噪比后,按式(12)计算 $\hat{F}(u, \nu)$,再进行傅里叶逆变换,得到复原后的图像 $\hat{f}(x, y)$,效果如图 4 所示。

式中, A, B, D, E, F, H, M, N 为 8 个待定系数。经典的反透视变换算法是通过求解方程组来确定这 8 个参数^[2, 11],进行反透视校正。

但是在嵌入式设备上求解这个方程组再进行反透视变换需要用到大量的浮点运算。目前常见手机的 CPU 大多采用软件模拟的方法来提供浮点运算,速度慢,因此,利用 2 维条码是矩形这一特征,给出一种浮点运算少的适合于嵌入式设备的反透视算法。

反透视变换为透视变换的逆过程,首先分析透视变换。结合 2 维条码是矩形的特点,可以把透视变换的过程分为两步:

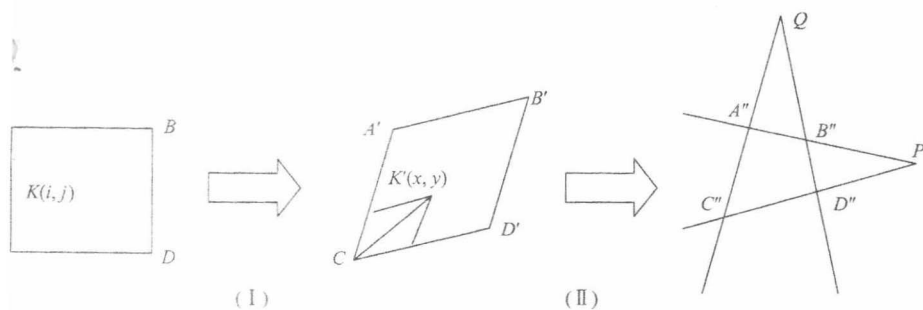


图5 透视变换示意图

Fig. 5 Perspective transformation

通过仿射变换,对矩形 $ABCD$ 进行旋转处理,变换为平行四边形 $A'B'C'D'$ 所示。可知原图中一点 $K(i, j)$ 和的点 $K'(x, y)$ 存在如下关系:

$$K'(x, y) = i \frac{C'D'}{|CD|} + j \frac{C'A'}{|CA|} \quad (14)$$

通过变换矩阵 T 对平行四边形 $A'B'C'D'$ 变换得到 $A''B''C''D''$, $A'B'C'D'$ 中一换后为 $K''(u, v)$:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = T \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

包含了缩放、平移和旋转,因此,变换操作,故 T 可简化为^[11]

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_{31} & t_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$T^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -t_{31} & -t_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

得到 t_{31} 和 t_{32} ,就可利用下式进行反

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -t_{31} & -t_{32} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (18)$$

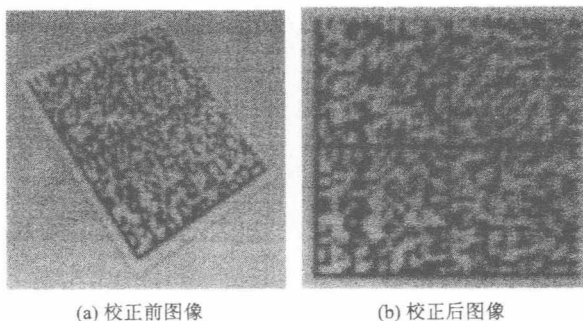
$A'B'C'D'$,经过变换后原来平行的对且交于点 $P(u_p, v_p)$, $A'C'$ 和 $B'D'$ 相 Q , 如图 5 所示。由于 P, Q 两点对 Q 点,因此,这两点利用式 (18) 反变 Q 子为 $0^{[11]}$,即

$$\begin{cases} -t_{31}u_p - t_{32}v_p + 1 = 0 \\ -t_{31}u_Q - t_{32}v_Q + 1 = 0 \end{cases} \quad (19)$$

根据以上分析,可以得到反透视过程如下:

- (1) 利用 4 个顶点 $A''B''C''D''$, 计算得到点 P, Q 坐标。
- (2) 根据式 (19) 计算得到 t_{31}, t_{32} 。
- (3) 根据式 (18) 将四边形 $A''B''C''D''$ 反变换得到平行四边形 $A'B'C'D'$ 。
- (4) 根据式 (14) 的关系,求解方程,将平行四边形 $A'B'C'D'$ 反变换得到原始图像 $ABCD$ 。

图 6 为反透视校正效果图。在完成了校正后,可以对图像进行二值化,识别黑白模块并采用 Reed-Solomon 码进行纠错处理,最后根据 Data Matrix 条码协议进行解码^[4],得出条码包含的信息。



(a) 校正前图像 (b) 校正后图像

图6 反透视校正

Fig. 6 Inverse perspective transformation

4 实验和分析

实验中通过 WinMobile 智能手机拍摄条码, CPU 为 QUALCOMM 7200, 主频 400 MHz, 内存为 128 M。针对不同规格的 Data Matrix 条码进行识别, 其中各种模块宽度及图片大小的条码各 200 幅。利

用本文提出的条码检测算法,反模糊算法以及反透视变换算法对条码进行检测速度、识别速度、识别率实验。

1) 检测速度实验

在条码检测中,比较了利用 Hough 变换检测条码与利用本文算法检测条码方法的效率。从表 1 可以看出,随着图像的增大,本文算法的优势体现很明显,由于 Hough 变换检测直线算法中是一种穷举式的搜索算法,效率非常低,本文算法克服了这个缺点,获得了比较好的效率。

表 1 条码检测算法耗时比较

Tab. 1 Time comparison of detection algorithm

图像大小	/ms	
	Hough 变换	本文算法
176 × 144	110	25
320 × 240	290	80
640 × 480	620	170

2) 识别速度实验

由于系统最终需要使用在嵌入式设备上,识别的实时性也要求比较高,因此,对条码从不同角度进行 100 次识别的速度进行实验,分别统计出平均识别时间,如表 2 所示。

表 2 条码识别耗时

Tab. 2 The recognition time of bar codes

图像大小	/ms		
	不存在透视	存在透视	存在透视和反模糊处理
176 × 144	55	75	370
320 × 240	170	245	1 800
640 × 480	360	620	3 120

从表 2 可以看出,反透视校正由于采用了文中设计的快速算法,耗时较少。反模糊处理由于采用维纳滤波,占用识别解码时间相对较多。在实际中,可以根据应用环境和硬件配置,决定是否要进行反模糊处理。一般采用 320 × 240 的分辨率,在这种分辨率下,进行反模糊处理条码的识别时间在 1 500 ~ 2 000 ms 之间。可以满足目前手机解码业务模式的需要。

3) 识别率实验

在条码识别中调节摄像头与条码的距离以控制条码图像的大小,使其模块宽度像素控制在一定的

范围之内,大约每隔 2 个像素数据,如表 3 所示。

表 3 算法识

Tab. 3 Recognition ra

条码模块宽度像素
2 个
4 个
6 个

表 3 表明本文的识别算法率。算法的高性能源于采用了一,有效的条码检测算法,能快速位条码的位置。其二,针对图像出了一种有效的方差估计算法反模糊处理。其三,在条码识别视校正技术,校正存在几何畸变的好的识别率。

利用本文设计的算法,开发手机条码识别引擎,包括 WinMo 平台,经多家企业和研究机构果。其中 WinMobile 平台运行界

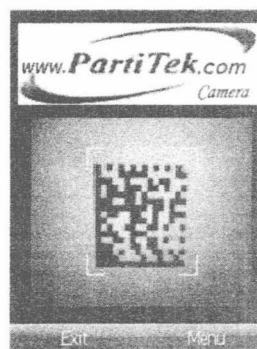


图 7 WinMobile 解

Fig. 7 Decoding software

5 结 论

随着 2 维条码在移动通信手机能快速有效地识别条码。维条码为例,对基于嵌入式手机别算法进行研究。

文中首先提出了基于链码快速条码检测算法;接着针对聚焦模糊问题,设计了估计方差和反模

出了适合嵌入式手机的反透视校正算法。
分析可知,本文设计的算法快速有效,能
满足解码业务模式的需求。

参考文献 (References)

- Yang Jing-yu. Encoding theory and design of
Data Matrix bar code [J]. Chinese Journal of Computers,
2007, 30(4): 686-692. [刘宁钟,杨静宇. 三维条码的编码理
论[J]. 计算机学报, 2007, 30(4): 686-692.]
- Shiroishi H, Lim A H. Barcode readers using the camera
on mobile phones [C]// Proceedings of the International
Conference on Cyberworlds., Washington DC, USA: IEEE
Press, 2004: 260-265.
- Uusitalo A, Vehvilainen M. Image pre-Processing for
Data Matrix in mobile devices [C]// Proceedings of the
International Conference on Acoustics, Speech and Signal
Processing, Toulouse, France: IEEE Press, 2006: 1180-1183.
- Shiroishi H, Lim A H. Information technology-Automatic identification
techniques Data Matrix bar code symbology [M].
London: Spon, 2006.
- Yang J K. Implementation of algorithm to decode two-
dimensional barcode PDF-417 [C]// Proceedings of the 6th
International Conference on Signal Processing. Beijing, China,
IEEE Press, 2002: 1791-1794.
- [6] Joseph E, Pavlidis T. Bar code waveform recognition using peak
locations [J]. IEEE Transactions on PAMI, 1994, 16(6): 630-
640.
- [7] Turin W, Boie R A. Bar code recovery via the EM algorithm [J].
IEEE Transactions on Signal Processing, 1998, 46(2): 354-363.
- [8] Kresic-Juric S, Madej D, Santosa F. Applications of hidden
Markov models in bar code decoding [J]. Pattern Recognition
Letters, 2006, 27(14): 1665-1672.
- [9] Liu Ning-zhong Yang Ting-yu. Recognition of two-dimensional bar
code based on Fourier Transform [J]. Journal of Image and
Graphics, 2003, 8(8): 877-882. [刘宁钟,杨静宇. 基于傅里
叶变换的 2 维条码识别 [J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(8):
877-882.]
- [10] Zou Mou-yan. Deconvolution and Signal Recovery [M]. Beijing:
National Defense Industry Press, 2001: 194-200. [邹谋炎. 反卷
积和信号复原 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2001: 194-200.]
- [11] Milian Sonka, Vaclav Hlavac. Image Processing, Analysis and
Machine Vision [M]. Beijing: Posts&Telecom Press, 2003.
[Milian Sonka, Vaclav Hlavac. 图像处理、分析与机器视觉
[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.]

The Imaging Science Journal

April 2010 Volume 58 Number 2



SCI 月刊

The Imaging Science Journal

Vol 58 No 2 2010 ISSN 1368-2199

Contents

Computational cryptography based on trigonometric algorithms and intensity superposition J A Muñoz-Rodríguez	63
Recognition of the stacked two-dimensional bar code based on interactive deconvolution N-Z Liu, H Sun and J-Y Yang	85
New reconstruction method for intermediate views from multiple views Q Zhang, P An, Z-Y Zhang, H Wang, Y-F Qu and G-Y Jiang	93
Fast 3D medical image rigid registration using the mutual information in equivalent meridian plane Z T Lu, W F Chen and L F He	100
Classification-based image watermarking using wavelet DC components K-S Yoo and W-H Lee	109
Pan-sharpening of QuickBird satellite images using multiresolution techniques: wavelets, contourlets, and curvelets J F Reinoso	117

Selected content is available free of charge at
www.magentaconnect.com/content/maney

To sign up for free Tables of Contents alerts, please see
www.maney.co.uk/online/tocs

Recognition of the stacked two-dimensional bar code based on iterative deconvolution

N-Z Liu^{*a}, H Sun^a and J-Y Yang^b

^aCollege of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China

^bDepartment of Computer Science, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China

Abstract: Traditionally, the method of bar code recognition is based on edge detection. Because of the high density of the stacked two-dimensional bar code, the signal is severely blurred by the point spread function of the optical system. And this method is not suitable. In order to deblur the image, a deconvolution technique is necessary. Under the influence of noise, deconvolution is a type of ill-posed problem. Based on the idea of bar codes as bilevel waveforms, a novel bar code recognition algorithm rooted in iterative deconvolution is proposed in this paper. First, the bar code is rotated to be horizontal using the interpolation of sixteen points. After analysing the waveform, the system identification is accomplished. At last, the bar code waveform is reconstructed based on iterative computations. The results show that the performance of the algorithm proposed here is excellent. It can achieve higher recognition rates than previous models.

Keywords: bar code recognition, deconvolution, point spread function, bilevel waveform

1 INTRODUCTION

Bar code technology is an important way of automatic data identification.^{1,2} Its recognition technology is a problem of edge detection.³ For a long time, the basic ideas for bar code recognition were all based on zero crossing of the second derivative to detect the edges.^{3,4} When the density of the bar code is low, this method can achieve a good result. However, when the bar code's density is high, if the camera's focus is not on the surface of bar codes, after convolution of the point spread function⁵ of the optical system, the edges disturb each other, which causes edge locations shift.^{4,5} At this time, recognition methods based on edge detection are no longer viable. So the observed data need deblurring processing before recognition.

The MS was accepted for publication on.

* Corresponding author: Ning-Zhong Liu, College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; email: lnz66@hotmail.com

There have been some recent efforts on this problem. For example, Joseph and Pavlidis⁶ calculated the standard deviation of the point spread function, and then compensated the edge locations of the bar code. In Refs. 7 and 8, the deblurring method based on deterministic expectation-maximisation algorithm was applied to process the signal. Shellhammer *et al.*⁹ obtained the edges of bar code using selective sampling and edge-enhancement filter technologies. Liu and Yang^{10,11} applied Fourier transform to process the observed signal to obtain the edge locations. In Ref. 12, an approach using a hidden Markov model was applied to edge detection in bar code signals. Kresic-Juric *et al.*^{13,14} analysed statistical properties of edge localisation errors in bar code signals corrupted by speckle noise. Okol'nishnikova¹⁵ applied recursive step-by-step optimisation formulas to recognize bar codes.

Although the bar code scanners are already well-established products in these days, how to deblur the



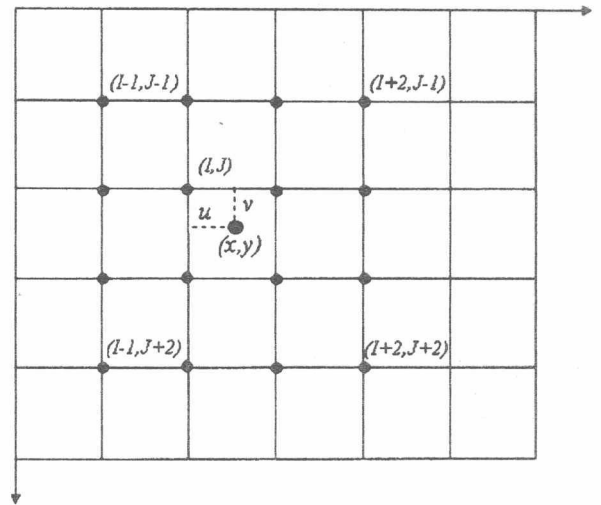
1 A tilting bar code

signal is still a hot point. It can make the scanners to recognize bar codes of higher density. Because of commercial value, the latest research is kept confidential. These existing approaches introduced before used the method of image enhance to deblur the signal, so there is limitation in deblurring range. Furthermore, most of these approaches use laser scanners to recognize stacked two-dimensional barcodes. However, with the development of barcode technology, we have to use cameras to capture images in some applications. So some new problems need to be overcome. In this paper, a novel algorithm based on iterative deconvolution is proposed to recover the signal. Under the influence of noise, the deconvolution becomes an ill-posed problem.¹³ It means that a tiny change in the observed data can cause a huge change in the answers. If there are no additional assumptions or limitations, the ill-posed problem cannot be solved. After segmentation, the each row of stacked two-dimensional is composed of black bars and white spaces, so the bar code's signal is binary. Using this limitation, we present an approach based on iterative computations to process the deconvolution.

2 LOCALISATION AND SEGMENTATION

The stacked two-dimensional bar codes have similar structures. In this paper, we use PDF417^{1,2} bar code as the example to present the algorithm. Bar code's localisation is an important step for recognition. The bar code needs to be located by filtering text and other signs in the image. The technology of bar code localisation can be found in Refs. 10, 11 and 16. In general, the bar code is at an angle in the image (Fig. 1). So after getting the bar code's location, it needs to rotate the bar code to be horizontal. First, the top edge points are identified, and Hough transform¹⁷ is used to get the linear formation of bar code's top edge. The details are showed in Refs. 10, 11 and 18.

After determination of the inclination angle, the bar code needs to be rotated to be horizontal. If



2 Interpolation of 16 points

nearest neighbour interpolation¹⁷ is used to rotate the bar code, it will cause jagged edges. To avoid jagged edges, bilinear interpolation¹⁷ is used in Ref. 10. However, bilinear interpolation blurs edges, so it is not suitable for deconvolution. In this paper, we use sixteen points $\sin(x)/x$ interpolation.¹⁷ It can overcome the disadvantage of jagged and blurred edges. Here, a piecewise polynomial $s(w)$ is used to approximate the best interpolation function¹⁷

$$s(w) = \begin{cases} 1 - 2|w|^2 + |w|^3 & |w| < 1 \\ 4 - 8|w| + 5|w|^2 - |w|^3 & 1 \leq |w| \leq 2 \\ 0 & |w| > 2 \end{cases} \quad (1)$$

As shown in Fig. 2, 16 nearby points participate in the interpolation to get the grey value of point (x, y) . Here (I, J) is the nearby top-left point of (x, y) and $u = x - I, v = y - J$. The interpolation equation is¹⁷

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} s(Y_1) \\ s(Y_2) \\ s(Y_3) \\ s(Y_4) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} f(I-1, J-1) & f(I-1, J) & f(I-1, J+1) & f(I-1, J+2) \\ f(I, J-1) & f(I, J) & f(I, J+1) & f(I, J+2) \\ f(I+1, J-1) & f(I+1, J) & f(I+1, J+1) & f(I+1, J+2) \\ f(I+2, J-1) & f(I+2, J) & f(I+2, J+1) & f(I+2, J+2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s(X_1) \\ s(X_2) \\ s(X_3) \\ s(X_4) \end{bmatrix} \quad (2)$$