

基于着色赋时 Petri 网的堆垛机建模与调度研究

罗 键 程 勇 吴长庆

LUO Jian ,CHENG Yong ,WU Chang-qing

厦门大学 自动化系 福建 厦门 361005

Automation Department ,Xiamen University ,Xiamen Fujian 361005 ,China

E-mail haijun2100@126.com

LUO Jian ,CHENG Yong ,WU Chang-qing. Research on modeling and scheduling of stacker via colored timed petri net. *Computer Engineering and Applications* 2009 45(1) 207-210.

Abstract : In order to research the stacker convey system concisely and legibly in AS/RS ,the colored timed petri net is adopted here to establish its dynamic model. At the same time ,aimed at the shortcomings of the existing system ,propose a stacker-control strategy based on dual buffers and a path-optimization strategy based on two-cycle operations ,which not only reduce the clog that possible bring by the existing system greatly ,but also enhance the efficiency in the stacker convey system and the input/output station. It has the vital significance to AS/RS with high efficiency normally and orderly to carry out.

Key words : colored timed petri net ;scheduling strategy ;stacker ;automated storage/retrieval system

摘 要 : 为了直观、简洁地研究 AS/RS 中的堆垛机运送系统 ,应用着色赋时 Petri 网(CTPN)建立了其动态模型。同时针对原有系统的不足 ,提出了基于双队列缓冲的堆垛机控制策略及双循环作业方式的路径优化策略 ,从而缓解了该系统中可能产生的阻塞现象 ,提高了堆垛机运送系统和出入库站台的效率 ,这对保证出入库的高效、正常、有序的进行有着重要的意义。

关键词 : 着色赋时 Petri 网 ;调度策略 ;堆垛机 ;自动化立体仓库

DOI :10.3778/j.issn.1002-8331.2009.01.063 文章编号 :1002-8331(2009)01-0207-04 文献标识码 :A 中图分类号 :TP278

随着科学技术和工业生产的飞速发展 ,现代物流技术领域内出现了一种新型仓储方式——自动化立体仓库(Automated Storage/Retrieval System ,AS/RS)。他是以高层货架为主体 ,以成套搬运设备为基础 ,以计算机控制技术为手段的高效率物流、大容量存储的机电一体化高科技集成系统。AS/RS 是属于面向资源的离散事件系统 ,对于这类动态系统建模 ,Petri 网已经证明其有效性。LINSO 等人采用着色的 Petri 网构建了 AS/RS 的动态模型 ,所获得的模型既可用于系统设计阶段离线性能评估 ,也可用作系统在线监控^[1-2] ;考虑到 AS/RS 的模块化 ,Italy 的 BASILEF 等应用有色 Petri 网(Colored Petri Nets ,CPN)构建了 AS/RS 的模块化模型 ,各子模块间通过接口(fusion places)通信^[3] ;为了使 Petri 网具有更强的可重用性和操作性 ,TIAN Guohui 等人把面向对象技术引入其中 ,提出了采用面向对象方法的着色 Petri 网(Oriented Object Colored Petri Nets ,OOCPN)来构建 AS/RS 模型^[4-7]。徐晨等人针对离散事件系统的状态反馈控制提出了一个基于自动机的模型 ,统一了无并发与有并发的 Ramadge-Womham 模型与可控 Petri 网模型^[8]。然而自动化立体仓库输送系统是基于时间的离散事件动态系统(Discrete Event Dynamical System ,DEDS) ,执行过程中的任务在各站台或其他位置上都需要一定的完成时间 ,而上述的研究

均忽略这一点。在此基础上 ,针对系统中高架库区堆垛机的调度进行了分析 ,提出了应用着色赋时 Petri 网(Colored Timed Petri Net ,CTPN)构建其动态模型 ,并给出了新的控制策略和路径优化策略。

1 研究对象及着色赋时 Petri 网原理

如图 1 所示为某工厂自动化立体仓库的高架立库区的剖面图 ,主要包括三个独立的高架立库区 ,其中 p_4 、 p_7 、 p_9 分别是这三个高架立库区的入库申请站台 , p_5 、 p_6 、 p_8 分别是这三个高架立库区的出库申请站台 , rs_1 、 rs_2 和 rs_3 为三个巷道堆垛机 , p_{29} 、 p_{30} 和 p_{31} 分别表示三个堆垛机 rs_1 、 rs_2 和 rs_3 的原点接货站台。

高架立库区货位与堆垛机交互实现托盘的出入库作业。对于高架立库区 ,为了讨论简便 ,假设每台堆垛机负责两排四货位的出入库任务 ,如图 2 所示。图 2 描述了一号巷道堆垛机 rs_1 与 8 个货位的结构简图 ,其中 p_{29} 为堆垛机原点接货站台 , p_{291} 和 p_{292} 分别表示堆垛机地轨在第一、二排的位置 ,其他位置表示 8 个具体的货位。

着色赋时 Petri 网(Colored Timed Petri Nets ,CTPN)是一个多元组 $CTPN=(P, T, Co, Inh, C^+, C^-, \Omega, T_i, M_0)$ 。其中 P 为有

基金项目 :厦门大学 985 二期信息创新平台项目资助。

作者简介 :罗键(1954-) ,教授 ,博士生导师 ,研究方向 :物流自动化系统和复杂工业生产制造执行系统(MES)的控制与优化 ;程勇(1982-) ,硕士研究生 ,研究方向 :物流自动化 ;吴长庆(1982-) ,博士研究生 ,研究方向 :物流自动化。

收稿日期 :2008-03-06 修回日期 :2008-07-02

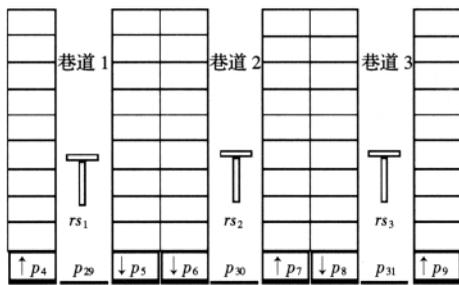


图1 高架立库区剖面结构简化图

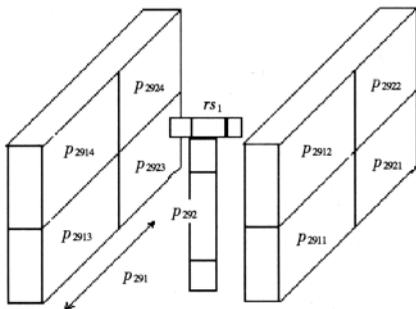


图2 高架立库区货位与堆垛机交互的结构简化图

限库所集 T 为有限变迁集 $Co = Co(P) \cup Co(T)$ 是有限库所集中托肯和有限变迁集上的颜色集合 Inh 为库所 P 和 T 之间的抑制弧权值 C 表示关联矩阵 $C^+ \in C(T) \rightarrow C(P)$ $C^- \in C(P) \rightarrow C(T)$ $\Omega = \cup x \in P \cup T \{C(x)\}$ 标志 $M_0(p)$ 表示初始状态下 $Co(p)$ 元素的集合^[9]。

另外,为了研究系统的动态性能,在着色 Petri 网中引进时间概念。即引入一全局时钟,时钟值 $\tau \in N$ 表示模型的离散时间。定义库所集 P 的函数如下 $\delta: P \rightarrow N$ $\delta(p)$ 表示变迁 t 使能(Enable)状态下库所 p 中托肯离开需要的时间。对于托肯的颜色,都给他们赋予一时间戳(timestamp),用 s 来表示,当托肯到达库所时,时间戳(time stamp)立即重置(清零)。当 $s \geq \delta(p)$ 时,通过对应的托肯使能的变迁 t 准备执行(激发)。

2 堆垛机的 CTPN 动态模型

着色赋时 Petri 网通过增加颜色属性扩展了 Petri 网元组,引入颜色属性简化了具有相同或者类似结构的系统 Petri 网图形表示。在宏观结构方面,高架库中货架的结构及堆垛机是相同的,应用着色 Petri 网分析方法可以构建出相对简单直观的模型;然而从微观角度考虑,为了描述堆垛机执行任务的情况有必要为其执行任务的路径添加相应的颜色属性,所以在 CPTN 中把堆垛机描述为着色托肯。

2.1 应用 CPTN 构建堆垛机运送系统的思想和方法

库所 $p_i \in P$ 代表资源位置,如输送站台、货位等,变迁 $t \in T$ 则描述了堆垛机存取货物以及输送站台间的托盘流动等可控事件。库所中的托肯表示堆垛机,而托肯的颜色表示堆垛机到达接货站的路径或者是从接货站台到达具体货位的路径,用 $pp(j)$ 表示,如 $pp(j) = (p_{29} p_{291} p_{2911})$ 表示接货站台到达具体货位的路径。而在堆垛机执行任务时,堆垛机的托肯颜色代表所执行任务的剩余路径。此外,用 CTPN 模型的标志 M 来表示堆垛机存在的空闲、载货和指令下达三种状态,具体对应关系如下:

(1) $M(p_i) = \langle pp(v) \rangle$ 表示堆垛机在库所 p_i 上,并且处于指令下达状态;

(2) $M(p_i) = \langle pp(j) \rangle$ 表示堆垛机在库所 p_i 上并处于载货状态,所载任务为 j ;

(3) $M(p_i) = \langle p_i \rangle$ 表示堆垛机在库所 p_i 上,状态为空闲;

(4) $M(p_i) = \langle 0 \rangle$ 表示库所 p_i 上没有 RGV 小车。

2.2 堆垛机执行入库操作时的 CTPN 模型

图3描述了图2中堆垛机执行入库操作时的CTPN模型。他描述了当有一入库任务产生时,任务托盘从堆垛机的原点接货站台 p_{29} 到具体货位的过程。库所 p_{29} 、 p_{291} 和 p_{292} 在同一时间内只允许一个托肯存在,即在实际系统中堆垛机在同一时间内只会出现在上述三库所的其中一个位置。对于图3中如 $t_{291 2911}$ 变迁,其使能条件如下:

$$M(p_{291}) = \langle 0 \rangle \tag{1}$$

$$M(p_{291}) = \langle pp(j) \rangle = \langle p_{291} p_{2911} \rangle \tag{2}$$

2.3 堆垛机执行出库操作时的 CTPN 模型

如图4所示,是堆垛机执行出库操作时的CTPN模型。他描述了当有一出库任务产生时,任务托盘从具体货位上由堆垛机运送到堆垛机的原点接货站台 p_{29} 的过程。库所 p_{29} 、 p_{291} 和 p_{292} 在同一时间内只允许一个托肯存在,即在实际系统中堆垛机在同一时间内只会出现在上述三库所的其中一个位置。对于图4中如 $t_{2911 291}$ 变迁,其使能条件如下:

$$M(p_{291}) = \langle p_{291} \rangle \tag{3}$$

$$M(p_{291}) = \langle pp(j) \rangle = \langle p_{2911} p_{291} p_{29} \rangle \tag{4}$$

如果变迁激发,那么新的状态标志 M' 如下:

$$M'(p_{2911}) = \langle 0 \rangle \tag{5}$$

$$M'(p_{291}) = \langle pp(j) \rangle = \langle p_{2911} p_{29} \rangle \tag{6}$$

其他的变迁使能条件类似,这里就不一一叙述。

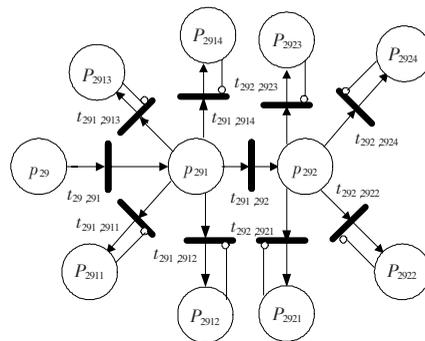


图3 堆垛机入库操作 CTPN 简化模型

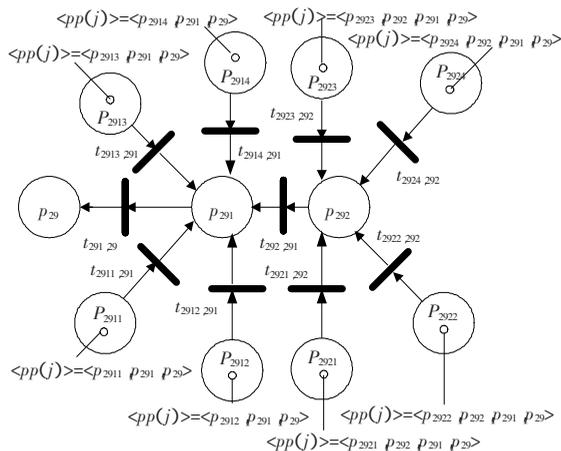


图4 堆垛机出库操作 CTPN 简化模型

3 调度策略研究

3.1 原系统调度控制策略

在某工厂的原有系统中,堆垛机的路径选择是根据先入先出的出库策略选出库托盘的货位,然后对各种不同的品牌进行库区均衡均分(该厂有三个高架立库区);当有入库任务产生时,插入到当前的出库任务队列中,且堆垛机采用的是单一作业方式,即把每一个出库任务或入库任务当作一个作业周期。如果把巷道口称为参照原点(附加货位点),并把堆垛机每次作业的起点设在参照原点,当堆垛机要执行一个出库任务时,先从参照原点出发到达任务托盘所在的货位,然后将货位上的任务托盘转移到堆垛机上并运送到堆垛机卸货站台,最后把任务托盘转移到相应的出库站台回到参照原点,从而完成一次出库操作;当堆垛机要执行一个入库任务时,先在堆垛机接货站台接入库的任务托盘,使任务托盘转移到堆垛机上,然后堆垛机将入库的任务托盘运送到要求的位置,并把之放入要求的货位,最后堆垛机返回到参照原点,从而完成一次入库操作。

按照现有系统的控制策略,由于系统是按照任务产生的先后顺序给堆垛机下达指令,堆垛机缓存若干指令,比如 5 个指令,然后循环执行这些指令。但是当某一时刻有入库任务且堆垛机在参照原点,因为堆垛机原来就分配好了下次需要执行的指令,那么堆垛机就不会响应入库任务,而是直接到巷道内去接出库任务,这样就会造成入库任务的等待,如果此时入库任务比较紧张,那么极有可能造成系统的堵塞现象。

此外,该系统原有调度的控制策略的另外一个缺点在于每一次任务的执行,堆垛机都有一次空跑的任务,即从参照原点到任务托盘或者从任务托盘到参照原点的空跑任务,这必将引起整个系统时间的消耗。

3.2 改进后的调度控制策略

基于以上对原有系统的分析,改进后的调度控制策略主要包括两个方面,一方面是堆垛机的控制策略的改进,另一方面是对堆垛机路径的优化。在解决这两个问题之前,先对堆垛机运行的时间消耗及相关问题作如下的定义:

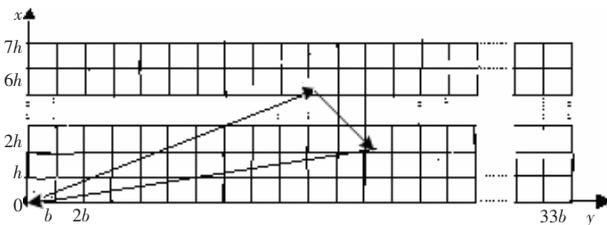


图 5 堆垛机复合作业运行路径简图

定义 1 如图 5 所示,图形结点为在单巷道内堆垛机需要存取的货位点,以坐标 (x, y) 标志,其中将货位点 $(0, 0)$ 视为巷道口,并将其作为整个出入库作业的附加货位点。

定义 2 假设某一个任务托盘的位置 i 的坐标是 (x_i, y_i) ,另一个任务托盘的位置 j 的坐标是 (x_j, y_j) ,则从位置 i 的任务托盘到位置 j 的任务托盘的时间代价记为 $t(i, j)$ 。事实上,在位置 i 和位置 j 确定的情况下 $t(i, j)$ 是一个确定的值,相应的,从库位 i 出库任务的时间代价为 $t(i, 0)$,入库到库位 j 的任务时间代价为 $t(0, j)$ 。

对堆垛机控制策略的调整主要体现在把单循环作业方式改变为双循环作业方式,并调整出入库任务的策略:出入库任

务的执行过程不再按照任务队列的先后顺序下达指令;货物入库时在 137 控制站台按照不同巷道采用巷道均分、同一巷道采用就近原则的分配策略选择巷道和具体的货位,出库时采用二级队列缓冲的方式,第二级队列中存放当前新加入的出库任务,第一级队列存放当前巷道中需要处理的出库任务和在该巷道中入库申请站台等待的入库任务,当第一级队列中没有出库任务并且第二级队列不为空时才将第二级队列中的任务按照队列的顺序移入第一级队列中。第一级队列的容量是一定的,设定为 N ,其中包括 $N-1$ 个单位的出库任务容量和 1 个单位的入库任务容量。

双循环作业方式对堆垛机路径的优化策略主要体现在待出库货位的优化选择。即堆垛机在到达一个库位停靠位置时,如何选择待出库的库存货位的货物问题。最常用的选择策略就是就近原则,即在第一级队列等待出库的库位中寻找与堆垛机所在库位的时间代价最小库位 $x(x \in R)$,其中 R 为该巷道中在第一级队列中所有的待出库的库位编号的集合),记本次入库任务所在的库位为 a ,即使得 $\min_{x \in R} L(x) = t(a, x)$ 。

在此,依据贪心策略的原则提出另外一种选择策略:在第一级队列等待出库的库位中寻找使得本次出入库周期(指堆垛机从参照原点到参照原点的一个过程)的时间代价最小的出库的库位 $x(x \in R)$,其中 R 为该巷道中在第一级队列中所有的待出库的库位编号的集合),记该次出入库周期中入库任务所在的库位为 a ,即使得 $\min_{x \in R} L(x) = t(0, a) + t(a, x) + t(x, 0)$ 。

于是,堆垛机的双循环作业方式处理的过程就可概括为:堆垛机完成了出库任务运送之后,就判断入库申请站台是否有货物,如果存在则将该入库任务加入第一级队列,并开始执行入库任务,否则按队列的顺序执行出库任务。如果堆垛机完成一条入库任务并且第一级队列中存在出库任务,则堆垛机按双循环作业方式继续执行第一级队列中的出库任务。

4 仿真实现及结果分析

下面简要介绍仿真系统中堆垛机 CTPN 模型及优化调度策略的实现方法。

整个仿真程序由两部分组成:一是调度层,一个是监控层。调度层主要负责 RGV 小车、共享站台及堆垛机的调度任务,即实现具体的调度算法,本文主要研究堆垛机的调度算法。当入库站台有货物申请入库时,调度层通过调度算法将任务分配给堆垛机,并给每条任务着上颜色,即该任务所走的路径。具体的调度流程如图 6 所示。

监控层主要负责执行调度层分配的任务,并且显示监控。在数据库中存有每个站台的具体信息,即模型中每个库所的具体状态。监控层通过不断的查询数据库中的站台信息,据此判断堆垛机、托盘是否要进行移动。也就是判断变迁条件是否满足,变迁是否触发。当变迁发生后,要在监控层中将新的各个站台的具体信息(库所的具体状态)更改到数据库中得到变迁发生后各个库所的状态,并且要在数据库中,记录下任务的起止时间,堆垛机经过每个站台的起止时间。

为测试调度策略的性能,在仿真系统上进行如下的实验:以某烟厂某一时刻高架库的库存状态为仿真系统的起点(忽略堆垛机的启动时间,高架库库存容量为 3 264 件,并分为三个巷道),执行 500 件成品的入库和 500 件成品的出库操作,以堆

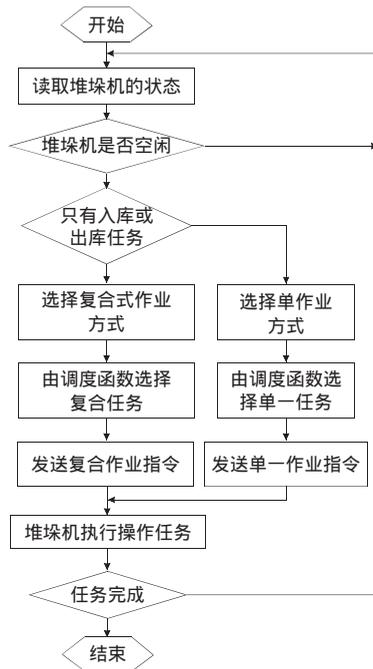


图6 堆垛机调度的流程图

堆垛机在此段执行时间内的空闲比(空闲时间与运行时间之比)、任务的完成时间以及堆垛机空跑时间为指标,测试两种调度策略的性能。实验结果如表1所示。

表1 对比实验结果

策略	性能指标		
	堆垛机的 空闲比	任务完成 时间/s	堆垛机空 跑时间/s
原调度策略	1.06	3 864	1 984
改进调度策略	0.51	2 847	956

实验结果表明改进的调度策略比原调度策略具有更高的执行效率。

5 结论

堆垛机运送系统是 AS/RS 系统的重要组成部分。本文分析了应用着色赋时 Petri 网(CTPN)构建系统模型的方法,建立了堆垛机运送系统的 CTPN 模型。采用的双队列缓冲的堆垛机控制策略及双循环作业方式的路径优化策略也大大减小了原系统中可能产生的阻塞现象,提高了堆垛机运送系统和出入库站台的效率,这对保证出入库的高效、正常、有序的进行有着重要的意义。

参考文献:

- [1] Lin S C, WANG P B H. Modeling an automated storage and retrieval system using Petri nets[J]. International Journal of Production Research, 1995, 33(1): 237-260.
- [2] Hsieh S, Hwang J S, Chou H C. A petri net based structure for AS/RS operation modeling[J]. International Journal of Production Research, 1998, 36(12): 3323-3346.
- [3] Basile F, Carbone C, Chiacchio P. Modeling of AS/RS via colored Petri nets[C]//Proceeding of 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced intelligent Mechatronics Proceedings, Italy, 2001, Como: 1029-1034.
- [4] 田国会, 刘长友, 徐心和. 自动化仓库输送过程调度问题研究[J]. 计算机集成制造系统, 1998, 4(2): 51-54.
- [5] 常发亮, 刘长友. 自动化立体仓库输送系统调度的优化仿真及其应用研究[J]. 系统仿真学报, 1998, 10(5): 14-19.
- [6] 徐菱. 现代生产物流成套设备系统管理与监控的关键技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2006.
- [7] 朱华炳. 制造业生产物流系统规划与调度技术研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2005.
- [8] 徐晨, 胡奇英. 离散事件状态反馈系统的一个新模型[J]. 深圳大学学报理工版, 2001, 18(14): 9-15.
- [9] Dotoli M, Fanti M P. Modeling of an AS/RS serviced by rail-guided vehicles with colored petri nets: a control perspective[C]//Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Hammamet, Tunisia, 2002: 162-167.

(上接 187 页)

基于 USAN 棋盘角点检测算法在计算时间上比 Harris 角点检测算法小很多,能快速检测出角点位置。

5 结论

在深入研究 SUSAN 算法原理的基础上,分析其不足,并提出了基于 USAN 的棋盘角点检测算法,该算法原理简单,易实现,具有计算量小,满足旋转变换不变等优点。实验结果表明该算法能快速检测准确地检测到从各个角度拍摄的棋盘图像的内部角点,有很强的实用性。

参考文献:

- [1] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector[C]//Proceedings of the Fourth Alvey Vision Conference. Manchester [s. n.], 1988: 147-151.
- [2] van de Weijer J, Gevers T, Geusebroek J M. Edge and corner detection by photometric quasi-invariants[J]. IEEE Transactions on

- Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(4): 625-630.
- [3] Smith S M, Brady J M. SUSAN-A new approach to low level image processing [J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 23(1): 45-78.
- [4] Park S J, Ahmad M B, Rhee S H. Image corner detection using Radon transform[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2004, 3046: 948-955.
- [5] 胡海峰, 熊银根. 一种基于两次 Radon 变换检测棋盘格方格点的新算法[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2003, 42(2): 23-26.
- [6] 王忠, 徐心和. 棋盘格模板角点的自动识别与定位[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(4).
- [7] 刘阳. 黑白棋盘格角点检测算法[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2007, 28(8).
- [8] 梁威等. 基于边链-中心判据的棋盘角点检测方法[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2007, 22(2/3): 70-73.
- [9] Kenney C S, Zuliani M, Manjunath B S. An axiomatic approach to corner detection[C]//IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego: IEEE Press, 2005, 1: 191-197.