

七 院



序号	姓 名	职 称	单 位	论 文 题 目	刊物、会议名称	年、卷、期	类别
1	敖婷 周洁敏	硕士 副高	071 071	基于Internet的智能住宅小区的研究开发	计算机应用研究	2002.19.00	J
2	陈果 左洪福	副高 正高	071 071	图像阈值分割的两种新技术	模式识别与人工智能	2002.15.04	H
3	陈果 瞿婉明 左洪福	副高 正高 正高	071 980 071	车辆脱轨安全限值的调整与改进建议	中国机械工程	2002.00.00	H
4	陈果 左洪福	副高 正高	071 071	润滑油金属磨粒的分类参数研究	航空学报	2002.23.03	H
5	陈果 左洪福	副高 正高	071 071	图像分割的二维最大熵遗传算法	计算机辅助设计与图形学学报	2002.14.06	EI、H
6	陈果 左洪福 孙有朝 李艳军	副高 正高 副高 中级	071 071 071 071	关于“民航飞机维修工程学”课程的教学改革	南京航空航天大学学报社科版	2002.04.00	
7	陈果 左洪福	副高 正高	071 071	Fisher评价准则下的彩色基粒图像自动分割	小型微型计算机系统	2002.23.06	H
8	黄圣国 孙同江 吕兵	正高 硕士 副高	071 071 042	运输网络的最短有向路Petri网仿真算法	南京航空航天大学学报	2002.34.02	J
9	李艳军 左洪福 吴振峰 于辉	中级 正高 博士 博士	071 071 071 071	显微观测技术的新进展及其应用	光学仪器	2002.24.02	J
10	李艳军 左洪福 吴振峰 吴新民	中级 正高 博士 博士	071 071 071 052	灰色定权聚类在磨粒识别中的应用	数据采集与处理	2002.17.01	H
11	李艳军 左洪福 吴振峰	中级 正高 博士	071 071 071	Wear Particle Classification Based on BP neural Network with Fuzzy-Factor	南京航空航天大学学报英文版	2002.18.01	J
12	梁永明 干敏梁	硕士 正高	071 071	MGLS12864型LCD在87C552单片机系统中的应用	现代显示	2002.00.04	
13	桑海潮 彭国华 干敏梁	硕士 其他2 正高	071 980 071	基于Keilc51的SEL4428IC卡驱动程序	现代电子技术	2002.00.09	
14	孙同江 黄圣国	硕士 正高	071 071	运输网络最大流的Petri网图仿真算法	交通运输工程学报	2002.02.03	
15	孙有朝	副高	071	复杂系统可靠性多级综合的熵法第二近似限	控制与决策	2002.17.04	EI、H
16	孙有朝 左洪福 施军	副高 正高 正高	071 071 071	发动机可靠性多级综合的信息熵法第一近似限	航空动力学报	2002.17.04	H
17	孙有朝 左洪福 倪凯 王伟	副高 正高 硕士 硕士	071 071 071 071	Management of Civil Aviation Engine Maintenance Cost	The 3rd Internatioonal Conference on Quality and Reliability	2002.01	

序号	姓 名	职 称	单 位	论 文 题 目	刊物、会议名称	年、卷、期	类别
18	吴振峰 左洪福	博士 正高	071 071	航空发动机磨损故障分析及诊断 技术评述	航空工程与维修	2002.00.210	
19	于辉 左洪福 陈果	博士 正高 副高	071 071 071	基于立体视觉的孔探分析系统及其 应用	南京航空航天大学学报	2002.34.03	J
20	董襄宁 史天民 刘星	中级 中级 中级	072 980 072	飞行进程单的自动生成系统研究	江苏航空	2002.00.01	
21	韩松臣	副高	072	空管专业本科教学体系改革与思 考	南京航空航天大学学报社 科版	2002.04.18	
22	刘星 韩松臣	中级 副高	072 072	用于自由飞行冲突探测的 Delaunay 方法	数据采集与处理	2002.17.04	H
23	刘星 胡明华 韩松臣	中级 正高 副高	072 072 072	自由飞条件下的冲突探测与解脱 方法	南京理工大学学报	2002.26.00	J
24	刘星 韩松臣	中级 副高	072 072	Flight Conflict Detection and Resolution	南京航空航天大学学报英 文版	2002.19.02	J
25	刘星 胡明华 董襄宁	中级 正高 中级	072 072 072	遗传算法在飞行冲突解脱中的应 用	南京航空航天大学学报	2002.34.01	J
26	彭怡	硕士	072	民航运价与物价联动机制分析	综合运输	2002.00.02	
27	王世锦	初级	072	单元筛选后作最大选择的CFAR 自适应检测器	现代雷达	2002.00.02	
28	王世锦 韩松臣	初级 副高	072 072	管制员的选择及发展状况	全国第一届空管人为因素 学术研讨	2002.01	
29	徐月芳	副高	072	基于遗传模糊C--均值算法的图像 分割	西北工业大学学报	2002.20.04	H
30	白杨	其他2	073	试论差异化民航物流服务的发展	物流科技	2002.25.93	

文章编号:1671-1637(2002)03-0076-05

运输网络最大流的 Petri 网图仿真算法

孙同江,黄圣国

(南京航空航天大学 民航学院,江苏 南京 210016)

摘要:现代化的综合交通体系和智能交通系统要求必须首先解决运输需求分析和运输网络分析的技术问题。Petri 网理论可以被引进到运输网络理论中,用来解决最基本也是应用最广泛的求最大流问题。首先介绍了 Petri 网与有向网络的 Petri 网模型;然后,给出有向网络最大流的求最短路径法;在此基础上,采用 Petri 网论法和计算机图形仿真法相结合的方法,求解运输网络最大流。即用 Petri 网图仿真器把无向运输网络转化为有向运输网络,然后求有向运输网络 G 的对偶网络 DG ,再用 Petri 网图仿真器将对偶网络 DG 转换成 Petri 图模型,并自动求得 DG 最短路(原网络 G 的最小割容量),即运输网络最大流。该方法比现有方法更方便,速度更快,而且形象、直观,是更实用的方法和手段。

关键词:运输网络;最大流;Petri 网;仿真

中图分类号:U113; TP391; O224; TP4

文献标识码:A

Petri net simulation algorithm of maximum flow in transportation network

SUN Tong-jiang, HUANG Sheng-guo

(School of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: With the development of the research about comprehensive traffic system and intelligent traffic system, the technical problem of transportation requirement analysis and network analysis is supposed to be resolved firstly. Petri net theory can be used to solve the maximum flow problem in the transportation network. Petri net and Petri net model of directional network are first introduced, then, a more applied method of seeking the maximum flow is given out. With the use of Petri net simulator, nondirectional transportation network is converted into a directional network, and its dual graph, denoted by DG , is converted into its Petri net model, then automatically get the maximum flow of the transportation network by seeking the DG 's shortest path, i. e. the G 's minimum cut capacity. This visual and intuitionistic method is more convenient and faster than the existing methods. 5 figs, 5 refs.

Key words: transportation network; maximum flow; Petri net; simulating

Author resume: SUN Tong-jiang (1978-), male, a graduate student of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, engaged in research of control navigation and intelligent system.

社会生产力的发展,人、物和信息流量的增加,推动着交通运输的现代化,然而,人们在享受现代化交通工具巨大便利的同时,也面临着交通拥挤、堵塞

和交通事故频发等带来的困扰。解决困扰的方案有两个:一个是加大路、场(港)、站建设;另一个是采用科学的管理、控制技术。由于国土空间有限,资金不

收稿日期:2002-02-18

基金项目:国家自然科学基金项目(79870032)

作者简介:孙同江(1978-),男,山东青州人,南京航空航天大学硕士生,从事控制导航与智能化系统研究。

足或时间紧迫,路、场、站的建设可能跟不上交通运输的需要,这就需要从交通系统的管理和控制(管制)入手,去解决交通困扰问题。显然,对于交通运输系统的管理和控制,首先面临的是网络理论中最基本、应用最广泛的最短路和最大网络流问题。从理论上来说这两个问题是早已解决的老问题,算法也已有多种,但是,却存在着计算量大、速度慢等问题,因此,实用性不能令人满意。本文就这一个问题展开探讨:根据现代交通智能运输系统^[1]的特殊要求,在网络图的基础上,采用Petri网论^[2]法和计算机图形仿真法相结合的方法,求解运输网络在最短时间内的最大网络流。以更实用的方法,保证整个运输网络通行能力的发挥。

1 Petri网与有向网络的Petri网模型

1.1 Petri网(PN)的定义

Petri网一般是用以下的六元组 $N=(P,T,F,MO,K,W)$ 定义的。可以用形式语言表示,也可以用图的形式表示。Petri网的图形表示称为Petri网图。用图形表示时, P 是称为位置(place)节点的集合, T 是称为变迁(transition)节点的集合, F 是 $p \rightarrow t, t \rightarrow p$ 的弧线(图中用箭线表示)的集合。因此,Petri网的网结构图是由 (P,T,F) 决定的有向二元图,如图1(a)所示。图1(a)中,位置(place)用圆“O”表示,通常它对应于事件发生的条件。变迁(transition)用短线“|”表示,对应于事件的“发生”和“结束”。网结构 (P,T,F) 表示条件和事件间的关系或系统规则。为了增强网图的模拟功能,使它不仅能模拟静态,而且能模拟动态,网图中引入了标记(token),即位置 p 中的黑点“ $\odot$ ”。 MO, K, W 的详细说明请参阅文献^[2]。

1.2 有向运输网络的Petri网模型

有向运输网络 $G=(V,E,W)$ 如图1(b)表示。显然,用Petri网图可以很好地表示网络的结构和逻辑关系。即用变迁 t 表示 G 中的顶点 v_i , 用位置 p 表示 G 中的弧线 e_{ij} , 用弧 f 表示 G 中的弧线 e_{ij} 的指向。为了使PN能表示 G 中的弧权的有关数值,同时,还能被用来进行计算机图形仿真寻求最短有向路径及路长,必须引入扩充Petri网的概念^[3]。

定义 具有“时间位置”和“标记附加描述”的Petri网称为“扩充Petri网”(EPN)。在扩充Petri网中,“标记的附加描述”是指给标记赋予两种状态:“延时中”状态(用一个在位置 p 中的空心小圆圈表示)和“时间已到”状态(与PN位置 p 中的黑点“ $\odot$ ”

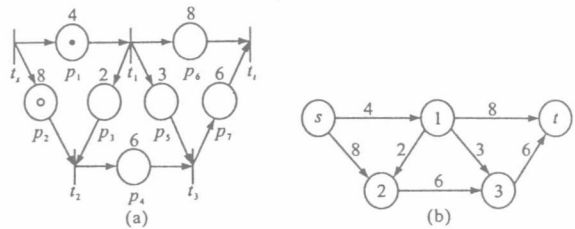


图1 Petri网与有向网络的Petri网模型

Fig.1 Petri net and the Petri net model of directional network

相同);而被指定具有某一权值的位置 p 称为“时间位置”。 p 上方的数 τ 表示“时间位置”的“位置时间”。在EPN中,用“位置时间”表示有向网络的弧权。图1(a)是表示图1(b)的有向运输网络 $G=(V,E,W)$ 的Petri网图模型。而由于该扩充的Petri网是专门用于网络分析,因此,本文将它略称为GEPN。

2 求最大有向网络流的最短路法

关于道路网络通行能力的定义,网络理论中有福特·福尔克桑(ford fulkerson)定义的最大流-最小割定理^[4]。即任一个网络 G 中,从 v_s 到 v_t 的最大流的流量等于分离 v_s, v_t 的最小割容量。

另一方面,最小割的探索可按如下方法进行^[5]:作原始网络图1(b)结点对 (s,t) 的对偶网络 DG ,如图2(a)。即从网格外的某点 ds (对偶发点)经网络的一些网格(对偶点 x, y, z) 而到网格外的另一点 dt (对偶收点)的割线所形成的网络。在图2(a)中,对偶网络 DG 的结点集 $DV=\{ds, dt, x, y, z\}$ 。因原网络 G 是有向的,加权的,所以对偶网络 DG 的对偶弧集 $DE=\{de\}$ 也是有向的,加权的。 DE 中的各元素 de_{ij} 的指向和权的确定按如下方法进行:若原始网络的弧在某割里是自发点指向收点的,则相应的对偶弧也是从对偶发点指向对偶收点的,反之亦然;对偶弧的权取值为被割的原始网络弧 e_{ij} 的弧容量 c_{ij} 。由于对偶网络 DG 的每一条“ $ds-dt$ ”路就是原网络 G 的一个割,所以求 G 的最小割容量就相当于求“ $ds-$

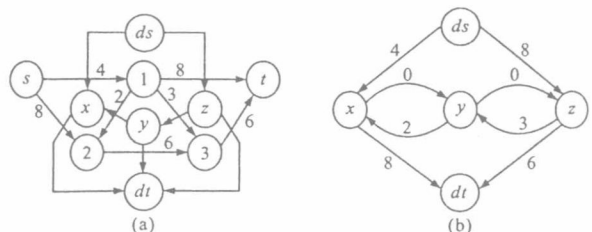


图2 网络图1(b)的对偶图

Fig.2 The dual of fig.1(b)

dt ”的最短路长。

因为对某一对偶弧 de_{ij} 而言, 可认为存在一个弧容量为 0 的弧 de_{ji} 。因此, 可将图 2(a) 中的对偶网络抽出, 改画为图 2(b)。而且可由图 2(b) 求得最短路径 $ds-x-y-z-dt$ 和计算求得最短路长为 10。

即求得原网络 G 图 1(b) 结点对 (s, t) 的最小割容量为 10。这也就求得了原始网络 G 的结点对 (s, t) 的最大流为 $F_{\max}=10$ 。

3 运输网络最短有向路的 Petri 网图仿真算法

3.1 GEPN 变迁 t 的实施规则

传统的最短有向路的算法都是通过直接计算路长寻求最短路。而 Petri 网图计算机仿真法是通过计算机计算“标记”在网图中从指定起点到达终点的最短运行时间, 来寻求最短有向路。

为此, 首先选用“Petri 网仿真器”内的 GEPN 变迁 t 的实施规则如下:

(1) GEPN 的某个变迁 t , 有一个输入位置 p_{in} 中具有“时间已到”的标记“ $\odot$ ”, 而它的所有输出位置 p_{out} 中, 都没有标记“ $\odot$ ”, 则称该变迁 t 的实施是可能的, 如图 3(a) 的 t_1 。

(2) 一旦可能实施的变迁 t 实施, 它的输入位置 p_{in} 中的“时间已到”的标记被移出, 它的每一个输出位置 p_{out} 中, 都立即放入一个“延时中”的标记, 如图 3(b) 的 p_3 中所示。经过 p_{out} 的各自对应的“位置时间” τ , “延时中”的标记分别变成成为“时间已到”的标记。

(3) 任何一个变迁 t 在整个 Petri 网系统的标记运行中, 只允许实施一次, 即实施过一次的变迁 t , 即使再次变成实施是可能的, 也不能实施。GEPN 的实施规则如图 3 所示。图 3(a)、(b)、(c) 分别表示标记在 0、1、2 单位仿真时间的那些时刻所处的状态。用计时仿真运行, 标记从 p_1 运行到 p_4 所用的仿真时间为 $0+2=2$ 单位时间。

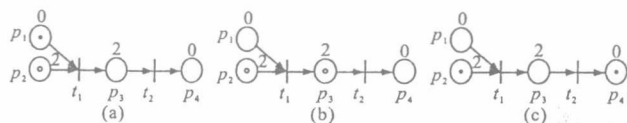


图 3 GEPN 变迁的实施规则

Fig. 3 The execution rules of the transition of GEPN

3.2 给网络 G 引入“运动标记”概念

定义 同时从网络 G 的一指定点 v_i 出发, 沿着

各自的路径 S (至少含一条不同弧的路径) 以相同速度 V 运动, 最先到达另一指定点 v_j 的运动标记, 称为网络 G 的“先达等速标记”。

先达等速标记具有以下性质:

定理 1 设网络 G 中, 从指定顶点 v_i 到另一指定顶点 v_j 之间有 d 条路径。 d 个等速标记同时从 v_i 点出发, 以相同速度 V (单位弧权/单位时间) 各自沿着 d 条有向路径中的一条朝 v_j 点运行, 则先达等速标记经过的路径为最短有向路。

定理 2 设网络 G 中, 从某一顶点 v_i 到另一指定顶点 v_j 的最短路径上, 有 g 个交叉点 (两条以上路径同时通过的顶点), 那么, 同时从 v_i 点出发的等速标记, 总是先达等速标记最早到达并通过交叉点。(证明略)。

3.3 无向网络的最短有向路的 Petri 网图仿真算法

运输网络, 特别是运输网络分析时, 总是把运输网络看成无向网络。这就要求首先把无向运输网络按最短有向路原则转化为有向运输网络, 以图 4(a) 的无向网络为例, 采用 Petri 网仿真器实现转化的仿真步骤如下:

步骤 0 把网络 G 的接续矩阵输入“Petri 网仿真器”。由 Petri 网仿真器把网络 G 转换成如图 4(b) 所示的“Petri 网二元素的接续图” (因无向网络的接续矩阵诸元素无正负之分, 无法转换为有正负符号之分的 Petri 网关联阵, 故引入此名称)。

步骤 1 给“Petri 网二元素接续图”添加“输入位置” p_i (对应于指定路径的起点图 4(b) 的 t_s) 和“输出位置” p_j (对应于指定的路径终点图 4(b) 的 t_t), 再在 p_i 中放入“时间已到”标记 (如图 3(b) 所示)。并令标记按 GEPN 的实施规则在 GEPN 接续图中运行:

(1) 因 p_i 有“时间已到” (圆点) 标记, 而 p_1 、 p_2 中无标记, t_s 实施 (从 t_s 画箭线到 p_1 , 再经 p_1 到 t_1 ; 从 t_s 画箭线经 p_2 到 t_2), 从 p_i 中移出圆点标记, 给 p_1 、 p_2 放入“延时中”标记 (圆圈)。当仿真计数小于 4, p_1 、 p_2 中的圆圈标记保持不变, 表示在等待延时中。

(2) 当仿真计数到 4 时, p_1 中的圆圈标记变成圆点标记。此刻 p_3 、 p_5 和 p_6 无标记, t_1 实施 (从 t_1 画箭线经 p_3 到 t_2 、画箭线经 p_5 到 t_3 、画箭线经 p_6 到 t_4), 移出 p_1 中的圆点标记, 给 p_3 、 p_5 和 p_6 放入圆圈标记)。

(3) 仿真计数为 6 时, p_3 中的圆圈标记变为圆

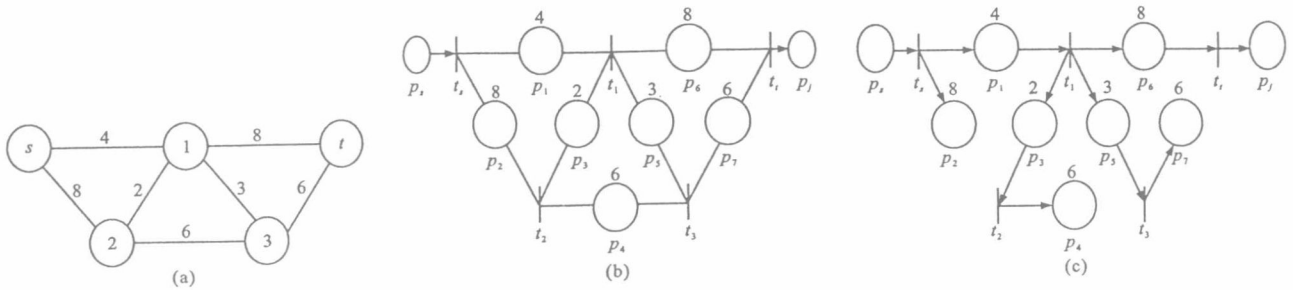


图4 无向网络和按最短有向路处理的有向网图

Fig. 4 Nondirectional network and its directional graph model

点标记, p_4 中无标记, t_2 实施(从 t_2 画箭头线经 p_4 到 t_3 , 移出 p_3 中的圆点标记, 给 p_4 放入圆圈标记)。此刻 p_2 、 p_5 和 p_6 中的标记不变, 皆为圆圈标记。而因 t_2 已实施过一次, 不能再实施, 消去非导致变迁实施的“输入位置” p_2 中的标记和输出弧线。

(4) 仿真计数为 7 时, p_5 中的圆圈标记变为圆点标记, 而 p_4 中无标记, t_3 实施(从 t_3 画箭头线经 p_7 到 t_1 , p_5 中的圆点标记被移出, p_7 中放入圆圈标记)。而因此刻, t_3 已实施, 不能再实施, 消去非导致变迁实施的“输入位置” p_4 中的标记和输出弧线。

(5) 仿真计数为 12 时, p_6 中的圆圈标记变为圆点标记, 而 p_j 中无标记, t_1 实施(从 t_1 画箭头线到 p_j , p_4 中的圆点标记被移出, p_j 中放入圆点标记)。消去非导致变迁实施的“输入位置” p_7 中的标记和输出弧线。运行终止得到图 4(c)。

步骤 2 由图 4(c) 最终可将图 4(a) 所示的无向网络转化为如图 1(b) 所示的有向运输网络 G 。另外, 还可以得到 s 点到其余各点的最短路及路长。例如, s 点到 t 点的最短路径为 $t_s \rightarrow t_1 \rightarrow t_t$, 路长为 $w = 4 + 8 = 12$ 。

4 运输网络最大流的 Petri 网图仿真算法

从无向运输网络图 4(a) 转化得到了图 1(b) 所示的有向网络 G 。在此基础上, 运行专用的图形仿真软件求得网络 G 的偶网络 DG 。然后, 在 Petri 网图仿真器^[5]上, 采用 Petri 网图仿真法, 实施以下仿真步骤, 求得运输网络最大流(为方便起见, 采用求最短路时的弧权为求最大流的弧的容量)。

步骤 0 将图 2(b) 所示的对偶网络 DG 输入“Petri 网仿真器”, 由 Petri 网仿真器把网 DG 转换成对应的图 5(a) 所示的 GEPN 网图模型(其中 p_s 和 p_j 在步骤 1 才添加)。

步骤 1 给 GEPN 网图模型图 5(a) 的 t_{ds} 添加

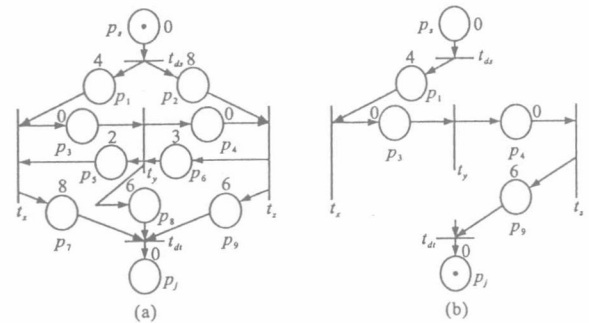


图5 DG 网的 GEPN 网图模型

Fig. 5 The GEPN model of the DG network

“输入位置” p_s 和 t_{ds} 添加“输出位置” p_j 。然后, 再在 p_s 中放入“时间已到”标记, 并令标记按 GEPN 的实施规则在 GEPN 网图中运行。在标记运行的同时, 仿真器登录各个变迁实施时刻的时间值; 对于非导致变迁实施的“输入位置”连同它们的输入/输出弧线从网图中消去。标记运行的最终被放入 p_j 内, p_j 内出现“圆点标记”表示标记运行结束。

步骤 2 显示最短有向路径和路长。路径如图 5(b) 所示, 路长为 10。

步骤 3 以文本和图表的形式输出仿真报告。运输网络 G 的最大流容量和受限路段: 最大流容量 $C_{\max} = 10$; 受限路段是 (v_s, v_1) 和 (v_3, v_t) 。仿真结束。

5 算法的遍历性和有效性分析

Petri 网图计算机仿真法适用于在弧权为正值的有向网络中求最短有向路。

算法的遍历性是由第 2 节中定义的变迁的实施规则保证的。在全节点运行命令下, 规则(1)限定了有运动标记通过路段端点(或交叉点)的条件是, 必须有一个运动标记走完端点(或交叉点)前的路段, 同时, 还必须在端点(或交叉点)后的所有相邻路段未曾被任何一个运动标记走过。实施规则(2)规定: “一旦可能实施的变迁 t 实施, 在它的输入位置 p_{in} 中, ‘时间已到’标记被移出, 同时, 在它的每个输出

位置 p_{out} 中,立即放入‘延时中’的标记。……”;实施规则 3 规定:“任何一个变迁 t 在整个 Petri 网系统的标记的运行中,只允许实施一次。……”。这就保证了有向路的所有路段都可能被运动标记走过,且最多仅走完一次。

算法的有效性与仿真器的计算机结构有关。在串行结构计算机上完成仿真计算时,计算量和运行时间既和网络 G 的顶点数有关,又和最短路径的权值有关。在单路径命令下,当网络的弧线多,Petri 网仿真法比 Dijkstra 真法的计算量 ($O(n^2)$ 阶)小,比 Dijkstra 真法有效。而且,在网络 G 中的指定点间的路径越多,越是显得有效。

6 结 语

社会的进步使得现代交通运输网络有了更高的保障要求:一要快;二要有足够大的通行能力。因此,本文所求的最短有向路是指时间最短,而无向运输网络转换为有向运输网络也仅仅是转换为最短有向

(上接第 62 页)

由表 1 可见,不论是否考虑节点延误,同一对节点(这里是节点①和节点⑨)之间,在方向互异的情形下(方向①→⑨和方向⑨→①)其最短路所经历的中间节点各不相同。这是有向网络图所特有的性质,它充分体现了交通流在城市道路网空间分布的不均衡性。本文所设计的城市道路网系统宏观仿真模型是基于有向网络的,能很好地仿真道路网交通流分布。

表 1 还显示,考虑节点延误时所求解的最短路显著地不同于不计节点延误的最短路,这说明传统的不计交叉口延误的城市道路网宏观交通仿真模型及其最短路径求解算法是不合适的。此外,,在不同的节点延误下(譬如:在右、直、左流向的节点延误分别为(0,2,3)和(0,1,3)的情形时),最短路径的求解结果有很大的不同。这说明交叉口延误与路段行驶时间同等重要,不同的节点延误数据将会导致不同的宏观交通仿真结果。因此,在建立城市道路网系统的宏观仿真模型时,要确保交叉口延误数据的准确可靠。

5 结 语

宏观交通仿真是对城市道路网体系进行系统分

析的关键技术,而仿真模型的质量直接影响着仿真分析的可行性与可靠度。城市道路网交通特性空间分布的方向性和交通流的交叉口延误是模型的关键。本文运用标识交叉口的节点编号处理了这些问题,建立起反映城市道路网交通特点的仿真模型,并给出了该模型的最短路径算法。最后给出最短路径算法实例,并以此说明交叉口延误对城市道路网宏观交通仿真的影响。准确预测车辆在各路段的行驶时间以及车辆通过不同类型交叉口的延误是进行城市道路网宏观交通仿真的基础。尚需深入研究路段阻抗函数和交叉口延误的合理形式。

参 考 文 献 :

References :

- [1] Lu Huapu, Shi Qixin. Progress in the research of intelligent transportation system and their prospects[J]. Science and Technology Review, 1996, 17(10): 54—57.
- [2] 袁崇义. Petri网原理[M]. 北京:电子工业出版社, 1998.
- [3] Huang Shengguo. Petri net simulation of discrete event system[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 1991, 12(9): 548—551.
- [4] 胡运权. 运筹学教程[M]. 北京:清华大学出版社, 1998.
- [5] 郭辉煌. 运筹学与工程系统分析[M]. 北京:建筑工业出版社, 1986.

析的关键技术,而仿真模型的质量直接影响着仿真分析的可行性与可靠度。城市道路网交通特性空间分布的方向性和交通流的交叉口延误是模型的关键。本文运用标识交叉口的节点编号处理了这些问题,建立起反映城市道路网交通特点的仿真模型,并给出了该模型的最短路径算法。最后给出最短路径算法实例,并以此说明交叉口延误对城市道路网宏观交通仿真的影响。准确预测车辆在各路段的行驶时间以及车辆通过不同类型交叉口的延误是进行城市道路网宏观交通仿真的基础。尚需深入研究路段阻抗函数和交叉口延误的合理形式。

参 考 文 献 :

References :

- [1] 晏克非,苏永云,等. 高架道路交通流系统动态仿真模型研究[J]. 中国公路学报, 2000, 13(增): 76—79.
- [2] 美国交通研究委员会,任福田. 道路通行能力手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1991.
- [3] 王 炜,徐吉谦,杨 涛,等. 城市交通规划理论及其应用[M]. 南京:东南大学出版社, 1998.
- [4] 刘灿齐. 车流在交叉口分流向延误的最短路径及其算法[J]. 同济大学学报, 2002, 30(1): 52—56.
- [5] 黄海军. 城市交通网络平衡分析理论与实践[M]. 北京:人民交通出版社, 1994.

文章编号:1005-2615(2002)02-0121-05

运输网络的最短有向路 Petri 网仿真算法

黄圣国 孙同江 吕 兵

(南京航空航天大学民航学院 南京,210016)

摘要 随着对综合交通体系和智能交通系统研究的逐步深入,发现必须解决运输需求和运输网络分析的技术问题。在已有的方法中,只有对有向网络有比较成熟的理论和方法,然而,运输网络却是无向的。本文内容是论述如何借助于 Petri 网论和 Petri 网图计算机仿真将无向交通运输网络转换为 Petri 网表示的有向图,并同时求出相应的运输网络中 OD(起点终点)对的最短有向路径及路长。本文以图的形式给出 Petri 网的定义,通过导入“时间 Place”和“标记”的附加描述,使 Petri 网成为扩充的 Petri 网(EPN)。定义 Petri 网图仿真器的运行规则和步骤,用 Petri 网图仿真器自动将无向运输网络转换成 EPN 模型,然后自动求出相应的最短有向路径和路长。通过显示、打印或电信号,为用户提供仿真报告或电信号。

关键词: 运输;网络;仿真;最短路;Petri 网

中图分类号: TP391;O224;TP4

文献标识码: A

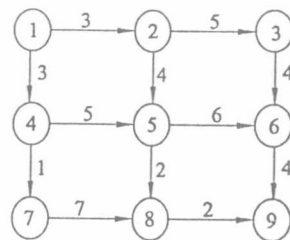
引 言

社会生产力的发展,人、物和信息流量的增加,推动着交通运输的现代化,然而,人们在享受现代化交通工具巨大便利的同时,也面临着交通拥挤、堵塞和交通事故频发等带来的困扰和对国民经济发展的制约。这引起人们更加注重从研究交通管理与控制的理论和方法入手,研究先进的交通系统,例如提出智能交通系统^[1,2]概念。而随着对综合交通体系和智能交通系统研究的逐步深入,又发现必须解决运输需求分析技术和运输网络分析的技术问题。在已有的方法中,只有对有向网络有比较成熟的理论和方法,然而运输网络却是无向的。自然,人们会想到先把无向运输网络转化为有向运输网络,再进行运输需求分析和运输网络分析。本文的内容就是如何借助于 Petri 网论^[3]和 Petri 网图仿真^[4]将无向的交通运输网络转换为 Petri 网表示的有向图,并同时求出相应的运输网络中 OD(起点终点)对的最短有向路径及路长。

1 有向网络的 Petri 网表示

图 1(a)是有向网络 $G=(V, E, W)$ 的网图模型,其中 V 表示顶点 v_i (图中的圆圈)的集合; E 为有向弧 e_{ij} (图中的箭头)的集合; W 为权值 w_{ij} (图中箭头上方的数字)的集合。

Petri 网(PN)的定义请参阅文[3]。Petri 网的图形表示称为 Petri 网图,是由 $(P, T; F)$ 决定的有向二元图,如图 1(b)所示。图中的 P 被称为位置节点(图中用圆表示)的集合; T 为变迁(transition)节点(图中用短线表示)的集合; F 为 $p \rightarrow t, t \rightarrow p$ 的



(a)

基金项目:国家自然科学基金(编号:79870032)资助项目。

收稿日期:2001-06-01;修订日期:2001-09-18

作者简介:黄圣国,男,教授,1941年9月生;孙同江,男,硕士研究生,1978年12月生;吕兵,女,副教授,1944年9月生。

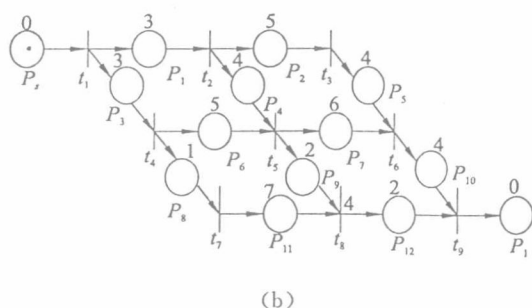


图1 有向网络和对应的 Petri 网图模型

弧线(图中用箭线表示)的集合。为了增强网图的模拟功能,使它不仅能模拟静态,而且能模拟动态,网图中引入了标记,即位置中的黑点(P_i 中的黑点)。

显然,用 Petri 网图可以很好地表示网络 G 的结构和逻辑关系。即用变迁 t 表示 G 中的顶点 v_i ,位置 p 表示 G 中的弧线 e_{ij} ,弧 f 表示 G 中的弧线的指向。图 1(b)即为有向网络图 1(a)的 Petri 网图表示。为了使 PN 能表示 G 中的弧权的有关数值,同时还能被用来进行计算机图形仿真,寻求最短有向路径及路长,下面对 PN 作适当扩充。

(1)带时间的位置

定义 1 具有被指定为某一时间值的位置称为“带时间的位置”。位置上方的数 τ 表示带时间的位置所具有的时间(称为位置时间)值。

(2)标记的附加描述

在 PN 中,标记只有一种状态,用位置中的实心圆点表示。现在给标记赋予两种状态:“延时中”状态和“时间已到”状态。当位置 p 的输入变迁(弧线指向 p 的变迁) t_{in} 实施(实施规则见定义 3),该位置 p 中立即放入一个延时中的标记(用一个在位置中的空心小圆圈表示)。在 p 的时间 τ 内,空心圆圈保持不变,表示处于延时中。一旦空心圆圈保持的时间等于 τ ,空心圆圈立即变成实心圆点,表示延时时间已到。此后,实心圆一直保持到位置 P 的输出变迁 t_{out} 实施时才消失(移出)。

(3)扩充 Petri 网

定义 2 具有“时间位置”和标记附加描述的 Petri 网称为“扩充 Petri 网”(EPN)。由于该扩充的 Petri 网是专门用于网络分析,因此,改称为 GEPN。

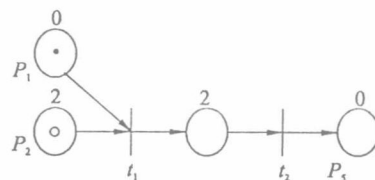
GEPN 可以用位置的时间表示有向网络的弧权,为了指定表示要求的最短路径的起点和终点,则在图 1(b)中增加 t_1 的输入位置 P_i 和 t_9 输出位置 P_j ,且 P_i 位置时间和 P_j 的位置时间约定为 0。

定义 3 GEPN 的变迁 t 实施规则如下:

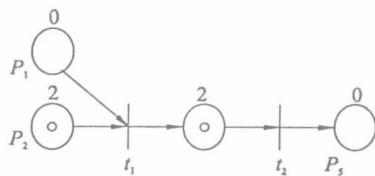
①GEPN 的某个变迁 t ,当它的输入位置中,一旦有一个 P_{in} 具有“时间已到”的标记,而它的所有输出位置 P_{out} 中,都没有标记,则称该变迁 t 的实施是可能的。

②一旦可能实施的变迁 t 实施,它的输入位置 p_{in} 中的“时间已到”的标记被移出,它的每一个输出位置中,都立即放入一个“延时中”的标记,经过 p_{out} 的各自对应的“位置时间” τ ,各自的“延时中”的标记分别变成“时间已到”的标记。

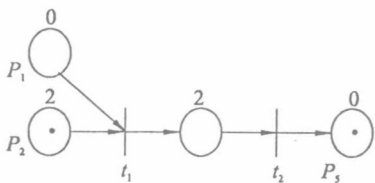
③任何一个变迁 t 在整个 Petri 网系统的标记运行中,只允许实施一次,即实施过一次的变迁 t ,即使再次变成实施是可能的,也不能实施。GEPN 的实施规则如图 2 所示。图 2(a,b,c)分别表示标记在 0,1,2 单位仿真时间的那些时刻所处的状态。用计时仿真运行,标记从 p_1 运行到 p_5 所用的仿真时间为 $0+2=2$ 单位时间。



(a)



(b)



(c)

图2 GEPN 的变迁的实施规则

2 在有向网络上求解最短有向路的 Petri 网图仿真算法

传统的最短有向路的算法都是通过直接计算路长寻求最短路。而 Petri 网图计算机仿真法是通过计算机计算“标记”在网图中从指定起点到达终点的最短运行时间,来寻求最短有向路。

为此,首先给网络 G 引入“运动标记”概念,并给出以下定义。

定义 4 同时从网络 G 的一指定点 v_i 出发,沿着各自的路径 S (至少含一条不同弧的路径) 以相同速度 $\bar{V}$ 运动,最先到达另一指定点 v_j 的运动标记,称为网络 G 的“先达等速标记”。

先达等速标记具有以下性质:

定理 1 设网络 G 中,从指定顶点 v_i 到另一指定顶点 v_j 之间有 d 条路径。 d 个等速标记同时从 v_i 点出发,以相同速度 $\bar{V}$ (单位弧权/单位时间) 各自沿着 d 条有向路径中的一条朝 v_j 点运行,则先达等速标记经过的路径为最短有向路。

定理 2 设网络 G 中,从某一顶点 v_i 到另一指定顶点 v_j 的最短路径上,有 g 个交叉点(两条以上路径同时通过的顶点),那么,同时从 v_i 点出发的等速标记,总是先达等速标记最早到达并通过交叉点。(证明略)

Petri 网图仿真器:

要实现运输网络中 OD(起点终点)对最短有向路径及路长的 Petri 网图仿真算法,首先必须开发研制 Petri 网图仿真器。图 3 是在文[4]提供的 Petri 网图仿真器的基础上,进一步完善的 GEPN 仿真器的简要结构图。

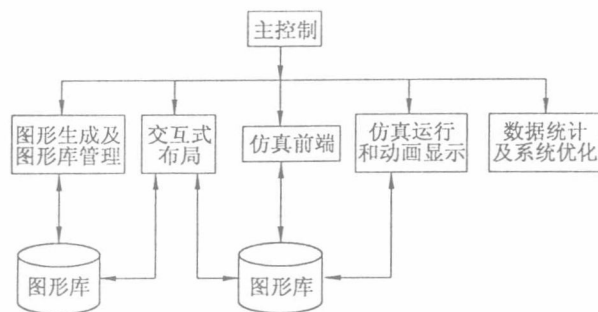


图 3 GEPN 仿真器的简要结构图

主控制:包括菜单管理、各类数据初始化、时钟和中断管理等。

图形生成及图形库管理:它和主控制与图形库可组成一个独立的交互式计算机画图系统。在图形库管理方面,可以对图形库进行增、删、改,用户可修改和建立自己的子图图形库。

交互式布局:用于网图的配置,画出用户系统的图形模型,也可以修改已有的系统模型。它的另一个重要功能是在构画网图模型的同时,在计算机内存中建立图元素之间的关联矩阵,以及网图系统运行和动画显示所必须的空间、时间坐标等有关结构参数。在图形模型存入图形库的同时,结构参数

存入数据库。

仿真器前端:处理用户输入图模型,形成仿真运行时能被接受的数据模型,交互式要求用户输入图模型无法提供的数据和规则。它的另一个功能是将网络图置换为 Petri 网图。

仿真运行和动画显示:运行对象系统,并以动画方式显示系统在不同时刻的状态及运行的流程,检测系统布局的合理性,记录各个指定时刻的系统状态参数值。

数据统计及系统优化:它是专为系统进行数据统计及系统优化而设计的。

仿真步骤:

由定理 1,2 和 GEPN 的变迁实施规则,拟定以下用 Petri 网图仿真器求解最短有向路径及路长的步骤(以图 1(a)所示的有向网络为例):

(1)把图 1(a)所示网络 G 输入“Petri 网仿真器”。由 Petri 网仿真器把网络 G 转换成对应的图 1(b)所示的 GEPN 网图模型。

(2)给 GEPN 网图模型添加“输入位置” P_i (图 1(b)的 t_1 前)和“输出位置” P_j (图 1(b)的 t_9 后),再在 P_i 中放入“时间已到”标记。并令标记按 GEPN 的实施规则在 GEPN 网图中运行(对于非导致变迁实施的“输入位置”连同它们的输入/输出弧线从网图中消去,直到圆点标记被放入 P_j 内,运行终止(见图 4(d))。在标记运行的同时,仿真器登录各个变迁实施时刻的时间值。

(3)显示最短有向路径和路长。

(4)在网络 G 中,重新指定路径的起点和终点,返回步骤 0,否则进行步骤(5)。

(5)以文本和图表的形式输出仿真报告。若要继续仿真运行,返回步骤(4),否则结束。

3 运输网络的最短有向路的 Petri 网图仿真算法

运输网络,特别是运输网络分析时,总是把运输网络看成无向网络。因此,要用 Petri 网图仿真算法求解运输网络的最短有向路,必须给 Petri 网图仿真器增加新的功能。而且,仿真步骤也和有向网络不同,以图 4(a)的无向网络为例:

(1)把网络 G 的接续矩阵输入“Petri 网仿真器”。由 Petri 网仿真器把网络 G 转换成如图 4(b)所示的“Petri 网二元素接续图”。(因无向网络的接续矩阵诸元素无正负之分,无法转换为有正负符号

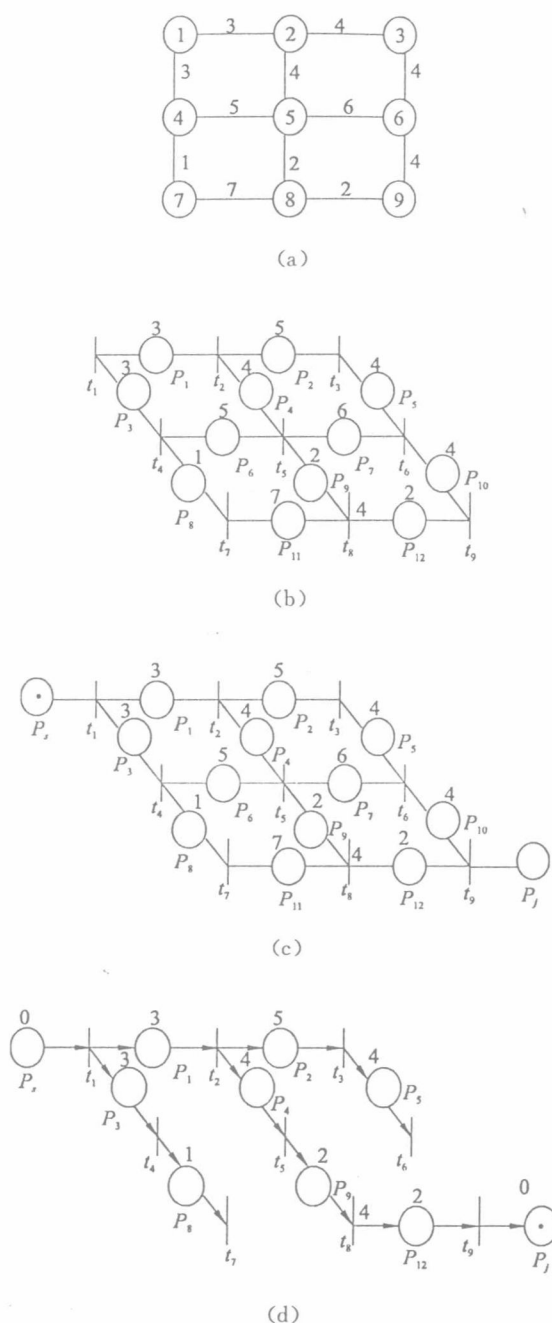


图4 有向网络和对应的 Petri 网图模型

之分的 Petri 网关联阵,故引入此名称。)

(2) 给“Petri 网二元素接续图”添加“输入位置” P_s (对应于指定路径的起点图 4(b)的 t_1)和“输出位置” P_j (对应于指定的路径终点图 4(b)的 t_9), 再在 P_s 中放入“时间已到”标记(如图 4(c)所示)。并令标记按 GEPN 的实施规则在 GEPN 接续图中运行:

① 因 P_s 有“时间已到”(圆点)标记,而 P_1, P_3 中无标记, t_1 实施(从 t_1 画箭线到 P_1 , 再经 P_1 到 t_2 ; 从 t_1 画箭线经 P_3 到 t_4 ; 从 P_s 中移出圆点标记, 给 P_1, P_3 放入“延时中”标记(圆圈))。当仿真计数

小于 3, P_1, P_3 中的圆圈标记保持不变, 表示在等待延时中。

② 当仿真计数到 3 时, P_1, P_3 中的圆圈标记变成圆点标记。此刻 P_2 和 P_4, P_6 和 P_8 无标记, t_2, t_4 同时实施从 t_2 画箭线经 P_2 到 t_3 、画箭线经 P_4 到 t_5 ; 从 t_4 画箭线经 P_6 到 t_5 ; 画箭线经 P_8 到 t_7 , 移出 P_1, P_3 中的圆点标记, 给 P_2 和 P_4, P_6 和 P_8 放入圆圈标记。

③ 仿真计数为 4 时, P_8 中的圆圈标记变为圆点标记, 而 P_{11} 无标记, t_7 实施从 t_7 画箭线经 P_{11} 到 t_8 , 此时刻 P_2, P_4, P_6 中的标记不变, 皆为圆圈标记。

④ 仿真计数为 7 时, t_5 实施从 t_5 画箭线经 P_7 到 t_6 , 经 P_9 到 t_8 , P_4 中的圆点标记被移出, P_7 到 P_9 中放入圆圈标记。此刻, t_5 已实施, P_6 中的标记仍为圆圈标记。待 P_6 中的圆圈标记变为圆点标记, 但因 t_5 已实施过一次, 不能再实施, 消去非导致变迁实施的“输入位置”连同它的圆点标记和输入/输出弧线。……。最后圆点标记被放入 P_j , 运行终止(如图 4(d)所示)。

步骤(3,4)和步骤(5)与前面第 2 节中的步骤相同。

4 算法的遍历性和有效性分析

Petri 网图计算机仿真法适用于在弧权为正值的有向网络中求最短有向路。

算法的遍历性是由第 1 节中定义的变迁的实施规则保证的。在全节点运行命令下, 规则(1)限制了有运动标记通过路段端点(或交叉点)的条件是, 必须有一个运动标记走完端点(或交叉点)前的路段, 同时, 还必须在端点(或交叉点)后的所有相邻路段未曾被任何一个运动标记走过。实施规则(2)规定: “一旦可能实施的变迁 t 实施, 在它的输入位置 P_{in} 中, ‘时间已到’ 标记被移出, 同时, 在它的每个输出位置 P_{out} 中, 立即放入‘延时中’的标记。……”; 实施规则 3 规定: “任何一个变迁 t 在整个 Petri 网系统的标记的运行中, 只允许实施一次。……”。这就保证了有向路的所有路段都可能被运动标记走过, 且最多仅走完一次。

算法的有效性与仿真器的计算机结构有关。在串行结构计算机上完成仿真计算时, 计算量和运行时间既和网络 G 的顶点数有关, 又和最短路径的权值有关。

5 结束语

智能交通系统是由其子系统-道路系统的网络层根据计划的行程起点和终点(OD)以及检测的当前路网状态择优选择行车路线。特别是当路网发生突然紧急情况,例如某路段中断通行,网络层要实行网络路由控制,给车辆提供路由指引信息。车辆本身也应根据自己的愿望快速、重新选择最优路径。该算法比现有其它方法更为直观方便。若将该算法与基于 Petri 网的交通管制辅助决策系统^[6]以及 Petri 网在空中交通管理中的应用^[7]结合起来,将对运输需求分析和交通智能控制提供有力支持,这是今后将继续研讨的问题。

参 考 文 献

- 1 Andersen J, Sutcliffe S. Intelligent transport systems

(ITS) — an overview [C]. In: Proceedings of IFAC Conference Technology Transfer in Developing Countries-Automation in Infrastructure Creation. Pretoria, South Africa, 2001. 99~106

- 2 Fujii T, Kawashima H. ITS and ISO/TC 204 activities [J]. Journal of the Society of Automotive Engineers of Japan, 1998, 52(2): 4~9
- 3 袁崇义. Petri 网原理[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998. 12~50
- 4 黄圣国, 倪永锡, 吕 兵, 等. 离散事件系统的 Petri 网图仿真[J]. 航空学报, 1991, 12(9): 548~551
- 5 黄圣国, 吕 兵, 钟 亮. 最短路的 Petri 网计算机仿真算法[J]. 东南大学学报, 1995, 25(3A): 84~89
- 6 黄圣国, 肖 靖, 陆 瑜, 等. 基于 Petri 网的空中交通管制辅助决策系统[J]. 南京航空航天大学学报, 2000, 32(2): 206~211
- 7 黄圣国, 吕 兵, 曹胜华. 随机高级 Petri 网在空中交通管理中的应用[J]. 南京航空航天大学学报, 1994, 26: 81~87

Petri Net Simulation Arithmetic of the Shortest Directional Path in Transportation Net

Huang Shengguo Sun Tongjiang Lü Bing

(College of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics Nanjing 210016, P. R. China)

Abstract With the development of the research in comprehensive traffic system and intelligent traffic system, the technical problem to transportation requirement analysis and network analysis is supposed to be resolved firstly. On the other hand, all the existing mature theory and methods are only for directional network, but not suitable for non-directional transportation network. This paper presents how to convert the non-directional transportation net into Petri net-denoted directional graph with the help of Petri net theory and Petri net simulator, meanwhile finding the corresponding shortest path of the transportation network. In this paper, Petri net is defined by net graph, and by introducing the "time-place" and "token", Petri net becomes enlarged Petri net (EPN). According to the running rules and steps, Petri net simulator can convert the nondirectional transportation net into EPN model and then work out its shortest path automatically. Finally, simulational results return to the user in form of screen-displaying or printed reports.

Key words: transportation; network; simulation; shortest path; petri net

文章编号:1000-1220(2002)06-0721-05

Fisher 评价准则下的彩色磨粒图像自动分割

陈 果 左洪福

(南京航空航天大学 民航学院, 江苏 南京 210016)

摘 要: 本文针对彩色显微磨粒图像特征, 选择最大类间方差分割法, 并对其进行推广以应用于彩色图像分割。在详细分析各种彩色特征的前提下, 通过选择合适的正交彩色特征量 I_1 、 I_2 和 I_3 , 成功地进行了两类彩色磨粒图像分割和目标提取。同时, 本文提出了基于 Fisher 评价准则的彩色特征量自动选取技术, 通过比较 Fisher 准则函数的最大值以实现彩色特征量的自动选取, 避免了人的主观判断和决定, 最终实现了彩色磨粒图像的自动分割。算例表明了本文方法的有效性和稳健性。

关键词: 磨粒; 图像分割; 彩色特征; Fisher 评价准则

中图分类号: TP391.4; V233.4; V263.6

文献标识码: A

1 引 言

机械领域的铁谱分析技术是机械设备故障诊断的重要分支, 其基本思路是通过识别机械系统润滑油中磨损微粒的磨损状态和种类达到对机械磨损故障进行诊断之目的。文献[1]将图像处理和模式识别理论运用于磨损监测的铁谱分析技术, 开发了 DMAS 智能化铁谱分析系统, 克服了传统铁谱分析技术误差大、自动化程度低等缺点。显然, 在该系统中, 对磨粒图像的目标提取则又是磨粒识别的基础和前提。然而, 目前该系统还缺乏有针对性的有效磨粒图像分割技术, 而是依靠通用图像处理软件(如 photomagic 和 photoshop 等)来实现, 这对易于处理的玻片磨粒图像基本能满足要求, 但对膜片图像则需进行人工手动点选来提取, 因此很不可靠且自动化程度低。有鉴于此, 本文将针对各种复杂背景下的显微磨粒图像, 综合研究各种图像分割方法, 通过自动选择图像分割特征量的方法来实现彩色磨粒图像的自动分割, 从而达到磨粒图像的自动、有效和可靠分割的目的。该方法对增强 DMAS 系统的自动化程度有着极其重要的意义。

2 基于空间域聚类的图像阈值分割法

图像阈值分割是一种广泛使用的图像分割技术, 它利用了图像中要提取的目标和背景在灰度特性上的差异, 选择一个合适的阈值, 以确定图像中每一像素点应属于目标还是背景, 从而产生的二值图像。由此可见, 要从复杂背景中分辨出目标并将其形状完整地提取出来, 阈值的选取是关键。为此, 国内外学者针对这一课题进行了广泛深入的研究和大量实验, 提出了多种阈值选取方法^[2]。如直方图阈值分割、最大类间方差阈值分割、最大熵阈值分割以及模糊阈值分割等等。但是应该看到, 尽管目前已经存在许多图像阈值分割方法, 然而没有一种方法对所有的图像均能实现有效地分割, 也没有一种图像适用于所有的分割方法。因此根据具体图像特征选择特定的

图像分割方法应该是图像处理中的一个重要思路。

3 彩色磨粒图像分割

3.1 图像阈值分割法选取

对于彩色显微磨粒图像的分割, 其实是一个典型的单阈值分割问题。其目标是机械磨损颗粒在显微镜的反射和透射光作用下呈现的区域, 在实验中^[3], 分别将黑色金属磨粒(如铁及其合金等)用玻片收集, 有色金属磨粒(如铜、铝及其合金等)用滤膜收集, 从而形成玻片图像和膜片图像, 一般玻片图像的目标可以靠其灰度加以区分, 而膜片图像的目标则需用彩色特征加以辨别。对于彩色磨粒图像, 其背景有时却会出现各种复杂的情形, 如噪声干扰、背景灰度不均匀等, 所以运用直方图阈值法将会使分割不可靠; 一维最大熵阈值分割对噪声很敏感, 二维最大熵阈值分割则又使问题变得更复杂, 且计算量大为增加; 模糊阈值分割法的缺点是窗口大小和资格函数的选取对图像的分割结果影响很大。对比起来, 由 Ostu 提出的最大类间方差阈值分割法是建立在最小二乘原理基础上的聚类分割, 其方法严密、原理简单, 是一种公认有效的传统图像分割方法, 其基本思路是将直方图在某一阈值处理分割成两组, 当被分成的两组的方差为最大时, 决定阈值。因此, 本文根据磨粒图像的特征选择了该方法。然而, 最大类间方差法是针对灰度直方图进行的图像分割, 有动态选取阈值实现目标自动提取的功能。但是彩色图像与灰度图像完全不一样, 如果只利用图像的灰度特征, 显然难于实现图像分割。事实上, 灰度也可以看成是彩色图像的一种特征, 如果能把握住彩色磨粒图像的主要特征, 并利用该特征的直方图来代替灰度直方图, 按同样的算法进行最大类间方差分割, 应该能对图像进行有效的颗粒目标提取。下面将首先对彩色图像的特征进行分析。

3.2 彩色图像特征选取

收稿日期: 2001-01-02 收修稿日期: 2001-03-21 基金项目: 南京航空航天大学民航科研基金(No Y0113-MH)资助; 作者简介: 陈果, 博士后, 主要从事图像处理、模式识别、信号分析与处理、机械振动及故障诊断等研究工作。

众所周知,彩色图像与灰度图像的描述不一样,灰度图像可以用标量来表示,而彩色图像通常要用三维矢量才能对其进行描述.描述彩色图像的坐标系有许多种,用哪一种才能更好地实现彩色图像目标提取呢?

Nevatia^[3]认为亮度 $D=R+G+B$ 和用比值 $r=R/D, g=G/D$ 比直接用 R, G, B 好; Ohlander^[4]则认为在 R, G, B 坐标系, Y, I, Q 坐标系和 D (亮度)、 S (饱和度)、 H (色调)坐标系这三种中的 Y, I, Q 最少使用,而 D, S, H 最有用.但由于 H 和 S 均为 R, G, B 的非线性变换,存在奇异点,在奇异点附近即使 R, G, B 的值有很小变化也会引起变换值有很大的跳动.所以从这点说,由 R, G, B 经线性变换法得到的彩色坐标系更为可取.

Ohta^[5]等人以动态 K-L 变换法找不同彩色区域,并由此得出一组适用于多种彩色图像分割的正交特征 I_1, I_2, I_3 . 即

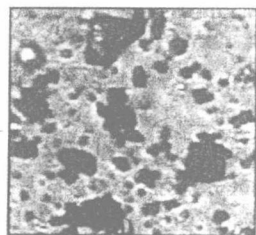
$$\begin{cases} I_1 = (R+G+B)/3 \\ I_2 = (R-B)/2 \text{ 或 } (B-R)/2 \\ I_3 = (2G-R-B)/4 \end{cases} \quad (1)$$

显然, I_1, I_2, I_3 为 R, G, B 时的线性变换, I_1 实际上反映了图像的灰度特征, I_2 和 I_3 则反映了图像的彩色特征.因此,根据不同的图像选取不同的特征,在利用最大类间方差法进行图像分割时,只需将灰度直方图用 I_1 或 I_2 或 I_3 的直方图代替即可进行有效的分割.

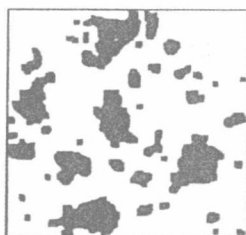
3.3 彩色图像特征对图像分割的影响

在 DMAS 智能化铁谱分析系统中,通过彩色 CCD 摄像头和视频图像采集卡所获取的 24 位真彩色显微磨粒图像,基本上可以分为玻片图像和膜片膜片图像两类,计算中选择了一幅玻片图像(如图 1a)和两幅膜片膜片图像(如图 2a 和图 3a),分别对应于磨粒图像 1、2 和 3.其中图 1(b,c,d),图 2(b,c,d)和图 3(b,c,d)分别为磨粒图像 1、2、3 的分割结果;所选取的正交彩色特征均分别为 I_1, I_2 和 I_3 .

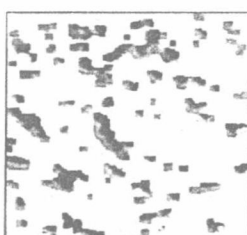
从磨粒图像 1 的分割结果可以看出:如果选择 I_1 作为图像特征量,则图像的分割效果最佳(如图 1b).如果选择 I_2 或 I_3 作为图像特征量,则效果均很差(如图 1c 和图 1d).由此可见, I_1 是该彩色图像的主要特征, I_2 和 I_3 均不能作为图像特征;对比磨粒图像 2 的分割结果可以看到:如果选择 I_1 作为图像特征量,则根本不能有效分割图像(如图 2b),如果选择



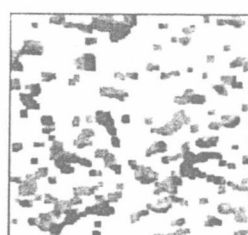
(a)



(b)

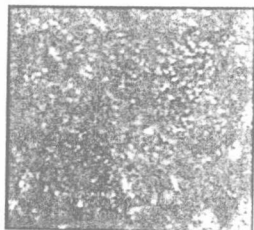


(c)

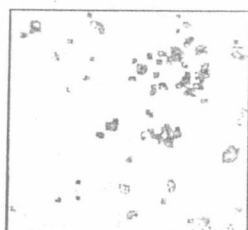


(d)

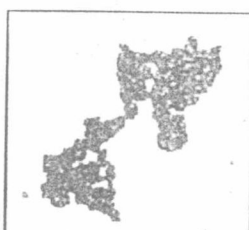
图 1 彩色显微磨粒图像 1



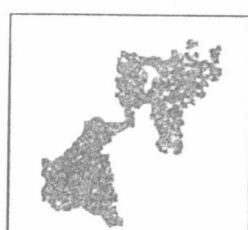
(a)



(b)

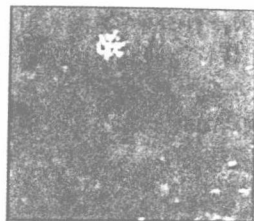


(c)

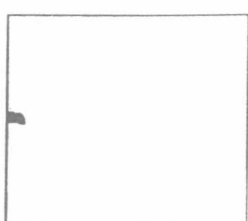


(d)

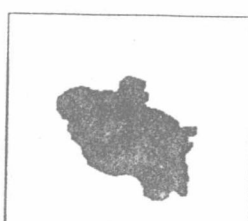
图 2 彩色显微磨粒图像 2



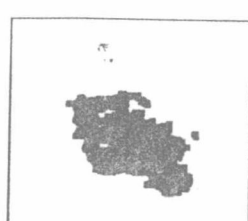
(a)



(b)



(c)



(d)

图 3 彩色显微磨粒图像 3

I_2 或 I_3 作为图像特征量, 则能实现有效分割, 其中 I_3 作为图像特征量效果最佳(如图 2d), 而 I_2 则次之(如图 2c). 由此可见, I_3 为该彩色图像的主要特征, I_2 是次要特征, 而 I_1 不能作为图像的特征量; 再对比磨粒图像 3 的分割结果可以看到: 如果选择 I_1 作为图像特征量, 则图像分割失败(如图 2b), 如果选择 I_2 或 I_3 作为图像特征量, 则能实现有效分割, 其中 I_2 作为图像特征量分割效果最佳(如图 3c), 而 I_3 则次之(如图 3d). 由此可见, I_2 为该彩色图像的主要特征, I_3 是次要特征, 而 I_1 不能作为图像的特征量.

事实上, 从式(1)可以看出, 正交彩色特征量 I_1 、 I_2 和 I_3 反映的图像特征不一样, 其中 I_1 反映像素间的灰度差别, I_2 和 I_3 则反映像素间的颜色差别. 从磨粒图像 1 所代表的玻片磨粒图像可以看出, 目标和背景像素的主要区分在于其灰度的差别, 所以必须要用特征量 I_1 进行图像分割; 但是, 磨粒图像 2 和 3 所代表的膜片磨粒图像, 其目标和背景的主要区分在于其颜色, 所以必须要用特征量 I_2 或 I_3 进行目标提取, 由于 I_1 不是该类图像的特征, 因此, 如果将其作为特征量, 则必然不能提取出图像磨粒目标.

4 彩色特征量的自动选取

从上面的分析结果可以看出, 不同的图像需要选择不同的彩色特征量才能进行正确的分割. 通常要实现一幅图像的有效分割, 有时需要选定不同的特征量来试探, 最后才能决定究竟选取那种特征才能达到最好的分割结果. 显然, 这种由人来进行彩色特征量的选取方法使系统的自动化程度大大降低, 因此, 在进行图像分割前, 实现彩色特征量的自动选择是非常重要的. 有鉴于此, 本文将引入模式识别理论中的 Fisher 评价函数作为判别准则以实现彩色特征量的自动选择.

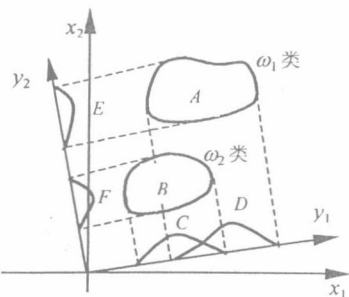


图 4 二维特征向量在直线上的投影

众所周知, 在模式识别理论^[6]中, 可以利用评价函数进行特征选择, 假设 n 维特征 X 在一直线上投影, 即研究使 n 维特征从 n 维减少到一维的情况. 这时, 如何选取投影直线, 才能使类间的距离最大呢? 如图 4 所示, 对于两个类别 ω_1 和 ω_2 , 假定各类的特征是二维分布(图 4 中 A、B 部分), 将它们在 Y_1 和 Y_2 直线上投影时, 可以明显看出, 类间分离在 Y_2 直线方向上为好. 一般情况下, 特征向量 X 的线性组合 Y 可表示为

$$y = Y^T X \quad (2)$$

当 $\|Y\| = 1$ 时, 则 y 就是 X 向 Y 方向直线上的投影.

图 4 中: A 表示 X 属于 ω_1 的分布; B 表示 X 属于 ω_2 的分

布; C 表示 $Y_1^T X$, X 属于 ω_2 的分布; D 表示 $Y_1^T X$, X 属于 ω_1 的分布; E 表示 $Y_2^T X$, X 属于 ω_1 的分布; F 表示 $Y_2^T X$, X 属于 ω_2 的分布.

另外, 属于 ω_i 类的特征向量 X 的平均值 μ_i 用式(3)表示

$$\mu_i = \frac{1}{n_i} \sum_{X \in \omega_i} X \quad (3)$$

其中 n_i 表示属于 ω_i 类 X 的个数, 所以 y 的平均值 m_i 和 y 类别内的方差 σ_i^2 为

$$m_i = \frac{1}{n_i} \sum_{X \in \omega_i} Y^T X = Y^T \mu_i \quad \sigma_i^2 = \frac{1}{n_i} \sum_{y \in \omega_i} (y - m_i)^2 \quad (4)$$

显然, 为了能对 ω_1 和 ω_2 进行有效的识别, 两类的特征应该分得越开越好, 因此必须要用一个评价函数来衡量两个类别间的分离度, 著名的 Fisher 评价函数 $J(Y)$ 就是基于这个思想提出的, 它可以对两个类别间的分离度进行定量描述, 其定义为

$$J(Y) = \frac{|m_1 - m_2|^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (5)$$

从式(5)可以看出, 当两个类别平均值间距离很大, 且各类方差很小时, $J(Y)$ 取最大值. 同时, 还可求得 $J(Y)$ 取最大值时所对应的最佳投影直线方向.

从上述分析可以看出, Fisher 评价函数 $J(Y)$ 不仅可以获取 n 维特征的最佳一维投影方向, 而且它也是判定类别分离程度的有效准则. 本文将利用 Fisher 评价函数作为彩色特征量选择的准则, 众所周知, 在一幅图像中, 其像素点一般可以分为目标物和背景两类, 对彩色磨粒图像, 可以分别选择彩色特征量 I_1 、 I_2 和 I_3 计算图像的 Fisher 评价函数, 通过比较其最大值来确定最佳的彩色特征以进行分割, 显然图像的 Fisher 评价函数最大值越大, 该特征量对图像的分离程度最好. 下面将推导 Fisher 评价函数 $J(Y)$ 在图像分割中的表达式.

设图像的灰度分布范围为 $0 \sim G$; 不失一般性, 假设图像仅由目标和背景两类像素组成, 其灰度均值分别为 μ_1 和 μ_2 , 方差分别为 σ_1^2 和 σ_2^2 , 则设图像灰度级按阈值 t 划分为目标和背景两类, 这里认为图像是由亮背景上的暗物体所组成, 因此凡是灰度级小于 t 的像素皆标认为目标物, 大于的像素皆作为背景. 设图像归一化直方图为 $h(i)$, ($i = 0 \sim G$), 目标物像素占全图像素数比为 θ , 即目标和背景的先验概率分别为 θ 和 $1 - \theta$, 则

$$\theta = \sum_{i=0}^t h(i) \quad (6)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=0}^t h(i) i / \theta, \quad \mu_2 = 1 - \mu_1 \quad (7)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=0}^t [i - \mu_1]^2 h(i) / \theta, \quad \sigma_2^2 = \sum_{i=t+1}^G [i - \mu_2]^2 h(i) / (1 - \theta) \quad (8)$$

在进行图像分割时, 必须考虑目标和背景像素的先验概率 θ 和 $1 - \theta$, 另外为了使各彩色特征量间有统一的比较前提, 应该让 $\theta = 0$ 时, Fisher 评价函数均归为 1, 故设 $\theta = 0$ 时, $J(t) = J_0$, 所以在考虑了类别先验概率的情况下, 归一化后的 Fisher