

基于两次应用优先级的 GDP 时隙分配算法模型

魏海明, 刘 循, 郑 权, 崔兰兰, 孙青云

(四川大学 计算机学院, 四川 成都 610064)

摘要:地面等待策略是空中交通流量管理中主要采用的一种方法,文中主要介绍了基于两次应用优先级的 GDP 时隙分配算法。初次优先级的使用是达到分组的目的,再次应用优先级则是为了解决初次分配后可能存在的在同一分组中航班竞争同一时隙的问题。文中对相应的算法实现做了详细介绍,并对成都双流机场的航班进行了多次仿真实验。同时和单纯的基于优先级的方法进行了对比,验证了该算法的可行性。

关键词:两次优先级计算;地面等待策略;时隙

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)12-0037-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.12.009

Model of GDP Time-slots Distributed Algorithm Based on Two Times Priority of Application

WEI Hai-ming, LIU Xun, ZHENG Quan, CUI Lan-lan, SUN Qing-yun

(College of Computer of Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: The ground-holding strategy is one of the main methods in air traffic flow management. The GDP time-slots distributed algorithm based on two times adopting priority is proposed. The first time of the calculating of the priority of the airplane is mean to classify the flights; the second time aims to resolve the problem of the competition of the flights in the same group to dispute the same time-slot. In this paper, give the detailed account of the algorithm, and give the simulation results according to airplanes in Shuangliu airport of Chengdu. At the same time, compared with the algorithm only based on priority's result, shows that the algorithm is practical.

Key words: two times calculating priority; ground-holding program; time-slot

0 引言

持续快速的经济增长作为航空运输业的助推器已经使我国成为继美国之后的第二大航空运输国。空中交通流量的增加在带来便捷的同时随之引发了空域、机场越发拥挤的问题。北京首都机场、上海浦东机场、广州白云机场等大型机场航班延误问题尤为突出,从而造成了巨大的经济损失。因此尽可能地减少航班延误是现实的需要,也是随着交通流量的增加所不得不面对的问题。对于流量的控制问题有多种解决方式,其中常见的措施包括为了避免或者是减少等待,让某些航班通过改变航线而达到避开繁忙航路的目的,实现航路分流的改航方式;还有让飞机在较高的高度层盘旋等待,从而避免飞机到达终端区后不得不在较低高度层上盘旋等待的高位等待策略^[1]。相比于以延长飞行路程为代价的改航策略和以油料消耗和空中危险

系数增加为代价的高位等待方法^[2],文中着重讨论的是实际中应用更多的地面等待策略^[3](ground-holding program):在一定时间范围内(最大允许延误时间)推迟某些航班起飞的时刻,把飞机原先在空中的拥挤和空中的盘旋等待转移到地面,从而减小危险系数和减少损失,解决空中交通拥挤的一种方式。

地面等待策略中一个十分重要的概念就是时隙,它指的是机场所能够提供给一个航班用于起飞或者降落的一个时间段。针对一个机场,一个时间段内时隙的数量和机场对应于该时间段里的实际容量有关。当机场容量大于请求在该机场请求分配时隙的航班数量时,可以按照航班计划进行起飞和降落。但是当机场的容量值小于请求分配时隙的航班数量时,便存在时隙竞争的现象。此时就可以利用地面等待模型,通过利用时隙分配算法确定该航班占用哪个时隙,把这种

收稿日期:2013-03-05

修回日期:2013-06-09

网络出版时间:2013-09-29

基金项目:国家“973”重点基础研究发展计划项目(2009CB320803)

作者简介:魏海明(1987-),男,硕士研究生,研究方向为人工智能与信息处理;刘 循,副教授,研究方向为人工智能与信息处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130929.1541.037.html>

竞争所引起的损失尽可能地减小。文中所应用的模型是采用两次应用优先级的方式来决定如何分配时隙的问题。与之前的单纯基于优先级的模型相比,初次分配把原先排序的一次性针对于所有参加排序的航班减少到一个组的大小的数量,从而使参加排序的规模缩小。在初次分配完成后,再次分配调整时若发生竞争,采用可变优先级的策略来更加合理地决定如何解决冲突。下面对该模型进行详细的介绍。

1 根据分类优先级实现对航班的初次分组

关于如何确定所有参与分配时隙的航班进行分类的依据,通过对飞行计划的相关知识的综合了解,同时参考相关文献资料,本着尽可能公平^[4]和尽可能减少损失的原则,分析认为分类的结果主要受到如下因素的影响:

- (1) 航班对应的机型;
- (2) 航班对应的飞行航路;
- (3) 航班空中飞行时间;
- (4) 航班的计划降落时间;
- (5) 航班降落机场;
- (6) 航班所属航空公司。

针对与航班有关的上述因素考虑把待请求时隙的航班分成 1, 2, 3, 4 四个分组。规定组序号越大,对应的优先级也就越高。

由于要求对六个因素综合考虑来分析如何分组,于是引入能够处理多数据源不确定信息推理和融合的 D-S 论据理论^[5]来得到在上述六个因素影响之下航班的优先级和获得该优先级时对应的可信度,从而确定航班所属分组。现做如下定义以便于接下来的描述:把上述的六个影响因素作为 6 批论据,定义为 $(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$ 。再定义 4 个优先级作为识别框架,且定义为 $P = \{p \mid 1, 2, 3, 4\}$, 其中数字为航班的优先级,同时也是它所在的分组的序号。把各个因素影响程度和发生的可能性定义为证据,将航班对应因素的所属分类定义为命题,且假定论据之间相互独立。下面给出如何判断航班属于哪个分组的具体步骤:

- (1) 计算出每个因素所属识别框的可能性。

规定由几位专家分别对来自 6 批论据的数据进行分析。设第 a 个专家对第 i 批数据所属分组给出一个命题,同时给出该命题可能发生的把握 w_{ai}^k ($0 < w_{ai}^k < 1, k = 1, 2, \dots, n, n$ 为第 a 个专家认为第 i 批论据有可能发生的命题的个数,即识别框架的大小;此处 $n = 4$)。由此定义专家 a 给出其判断的基本可信度用如下公式计算:

$$m_{ai}^k = \frac{w_{ai}^k}{\sum_{k=1}^n w_{ai}^k}$$

- (2) 综合各个影响因素的可信度计算出第 a 个专家结合所有影响因素给出的航班属于不同分组的可信度分配结果。

对于任意的 $A \subseteq P, P$ 上的有限个 mass 函数,此处为六个,根据 Dempster 合成规则^[6]

$$(m_{a1} \oplus m_{a2} \oplus \dots \oplus m_{a6})(A) = \frac{1}{K} \sum_{A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_6 = A} m(A_1) * m(A_2) * \dots * m(A_6)$$

其中 K 表示:

$$K = \sum_{A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_6 \neq \emptyset} m(A_1) * m(A_2) * \dots * m(A_6) = 1 - \sum_{A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_6 = \emptyset} m(A_1) * m(A_2) * \dots * m(A_6)$$

运用此公式,可分别计算出专家 a 给出的对该航班属于 4 个分组的可信度大小。同理重复步骤(1)和(2)可以计算出其他几位专家给出的分类情况。

- (3) 融合多个专家给出的基本可信度分配,得出最后该航班所属分组的结论。

根据定理:

$$m(A) = \frac{K \sum_{\substack{A_1, A_2, \dots, A_6 \subseteq P \\ A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_6 = A}} m(A_1) * m(A_2) * \dots * m(A_6)}{K} = \left[\sum_{\substack{A_1, A_2, \dots, A_6 \subseteq P \\ A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_6 \neq \emptyset}} m(A_1) * m(A_2) * \dots * m(A_6) \right]^{-1}$$

其中分组可信度最大的就是该航班所属的对应的组。

通过上述方法对每个要参加排序的航班进行分类,同时确定它的初次分配优先级。

对于初次分配的算法中应用到的部分模型描述:

- (1) 集合 $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$: 表示请求分配到达时隙的航班的集合。用 f_i 表示任意一架航班, $f_i \in F$ 。
- (2) 集合 $ETA = \{at_1, at_2, \dots, at_n\}$: 表示航班预计降落时间集合, at_i 表示航班 f_i 的预计降落时间。
- (3) 集合 $P_i (i = 1, 2, 3, 4)$: 表示四个分组, 集合 P_i 用于存放经初次分配算法后得到航班的分类优先级等于 i 的航班。

算法实现步骤:

步骤 1: 将集合 ETA 中元素按照降落时间的先后进行排序, 得到一个降落航班时间序列 q 。

步骤 2: 按照 q 的顺序依次计算集合 F 中对应参与分配到达时隙的航班的分类优先级, 并添加到相应的 $P_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 集合中。

步骤 3: 判断是否将集合 F 中所有航班都已经分配到相应的组里面, 若已经全部分配则结束, 否则转到步骤 2。

2 再次应用优先级实现时隙的最终分配

通过上面的初次分配,已经得到航班的分组。在满足其他要求的前提下,可以通过初次分配的优先级决定把时隙分配^[7]给竞争同一时隙的航班中优先级最高的航班。但是有一个问题可能发生,就是当同一个分组里面的航班竞争同一个时隙时,仅仅通过初次分配的优先级就不能解决分配问题。因此需要进一步想办法解决这个问题,于是再次给产生冲突的航班通过一定的算法赋予另外的优先级,解决如何再次分配的问题。

先介绍下再次分配中应用到的部分模型描述:

(1) 集合 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$: 表示用于分配的到达时隙的集合。用 s_i 表示任意一个可用的用于分配的时隙, $s_i \in S$ 。对于时隙的划分是根据机场的到达实际容量,随时间段的改变可能会发生改变。

(2) 集合 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$: 表示各个航班所允许的最大延误时间, d_i 表示对应于航班 f_i 所允许的最大延误时间。

(3) 集合 Q : 表示存放最终的时隙分配表,其中的元素用 q_{ij} 表示航班 f_i 分配得到时隙 s_j 。

再次分配的优先级的计算采用的是基于可变优先级的方式。相比于固定优先级的方式而言,可变优先级的方式更加灵活,在实际中很多时候随着航班延误时间的增加,一些确定性和不确定性的因素也会随之改变,所以优先级的设定也要随情况的改变而改变。因此文中同时考虑航班的延误时间和延误损失两个方面的因素来给出第二次的优先级的计算。

航班 f_i 请求时隙 s_j 的优先级 p_{ij} :

$$p_{ij} = w_1 t_{ij} + w_2 c_{ij} \quad (1)$$

$$w_1 + w_2 = 1 \quad (2)$$

w_1 : 延误时间在所求优先级中的权重, w_1 的取值范围为 $[0, 1]$ 。

t_{ij} : 在航班 f_i 占用时隙 s_j 所产生的时间延误标准化后的值。

对于 t_{ij} 的标准化: $t_{ij} = s_j^{-at}$;

$t_{ij} = t_{ij}/D_{\max}$; D_{\max} 表示一个特定的时间段长度,取没有后继任务航班最大允许延误时间。

w_2 : 延误损失费用在所求优先级中所占的权重, w_2 的取值范围为 $[0, 1]$ 。

c_{ij} : 在航班 f_i 占用时隙 s_j 所产生的延误费用标准化后的值。

$c_{ij} = c_{ij}/\text{Cost}$; c_{ij} 表示 f_i 占用时隙 s_j 所产生的延误费用, Cost 表示设定的一个标准值。

与固定的给出两个权重系数所不同,文中两个权重的值是由不同的航空公司根据自身的情况给出的权重系数,因为不同的航空公司对于两者的重视程度可

能有所不同,因此文中每架航班是由航空公司自己给出两者的权重系数,以更符合实际情况。

下面来介绍如何在初次完成的基础上发生竞争时再次利用上面的优先级解决冲突^[8],从而得到最后的航班排序序列,具体的算法步骤如下:

步骤 1: 对于时隙集合 S , 按照时间先后顺序, 从集合 $p_i (i = 4, 3, 2, 1)$ 中选择请求分配的时隙 $s_j \in [f_i \text{ 预计降落时间}, f_i \text{ 预计降落时间} + f_i \text{ 最大延误时间}]$ 且是未分配时隙的航班 f_i 。若只有一个 $f_i (f_i \in F)$ 在该时隙降落, 转到步骤 2。若有多个, 则转到步骤 3。

步骤 2: 将该时隙分配给航班 f_i , 标记该航班已经分配时隙, 在 Q 集合中添加元素 q_{ij} , 跳转到步骤 5。

步骤 3: 当多个航班竞争该时隙 s_j , 则先根据初次分配时所得的优先级进行判断, 若有最大初次优先级的航班只有一个时将该时隙分配给该航班, 并标记该航班已分配时隙, Q 集合中添加元素 q_{ij} 。若同时两个或多个航班拥有这些航班里的最大初次优先级时, 则转至步骤 4。

步骤 4: 针对在同一分组中竞争时隙的航班, 运用上面介绍的再次分配优先级计算方法, 计算出各个航班的此优先级, 将拥有最大再次优先级的航班分配该时隙, 同时标记已分配时隙, 在 Q 集合中添加元素 q_{ij} 转至步骤 5。

步骤 5: 判断集合 F 中的航班是否均已分配时隙, 若是集合 Q 为分配序列, 否则转至步骤 1。

3 仿真实验

文中实验所用操作系统是 Windows XP 系统, 仿真的开发环境使用的是 Visual Studio 2010, 数据库使用的是 Oracle 9i, 应用 C++ 语言编程实现了整个算法, 并通过对成都双流机场一天范围内的航班数据进行多次仿真, 有效地完成了时隙的分配^[9]。下面给出某日 16:00 ~ 17:00 时间段内请求在成都双流机场降落的航班的实验相关内容和过程。同时也完成了单纯基于优先级的航班排序算法的实验, 从总延误时间和总延误损失两个方面来进行对比说明两次应用优先级的航班排序模型较之单纯的基于优先级的航班排序都有一定的改进。

为了实验的有效性, 根据需要做如下规定说明:

1) 因为 16:00 到 17:00 这个时间段内共 20 架航班, 而设定的在这个小时内的实际容量大小为 16 架次, 则有四架飞机得不到时隙分配, 所以把时隙的分配结束时间延长到 17:15 以保证每架飞机都可得到一个时隙。

2) 规定时隙大小为 3 分钟, 则时隙区间分别为 $[16:00, 16:03], [16:03, 16:06], \dots, [17:12, 17:15]$ 。

3)对于航班的所允许的最大延误时间,在此实验中规定有后继任务的航班的最大延误时间是 30 分钟,而没有后继任务的最大延误时间是 60 分钟,所以实验中计算第二次优先级时的 $D_{\max} = 60$ 分钟。

4)各类航班的延误成本参照了文献[10]进行如表 1 的设定,且令实验中计算两次优先级时的 Cost = 10 000 元。

下面是实验中的重要结果部分,同时给出了一定的分析。如表 2 所示是该时间段内在双流机场降落

20 架请求分配时隙的航班的相关信息。

表 1 各种机型航班的延误运营成本

机型	代表符号	延误运营成本/(元/小时)
轻型机	L	220
中型机	M	3 150
重型机	H	4 200

根据航班的初始化信息,运用初次分配算法,把这 20 个航班分组。给出该实验中通过应用初次分配算

表 2 初始化航班列表信息

	航班号	机型	航线	空中飞行时间	航班到达时间	航班起飞时间	所属航空公司	权重系数 w_1	权重系数 w_2	最大延误时间
1	CSN3903	M	ZBAA CU BJCD SUBUL TOREG W...	0218	2012 - 09 - 20 16:00	北京/首都机场	中国南方航空公司	0.6	0.4	60
2	CCA4232	H	ZLJC YNC JTA LLQCZ OMB0N P...	0140	2012 - 09 - 20 16:00	银川/河东机场	中国国航空公司	0.7	0.3	60
3	CES5435	H	ZS0F NJSB XSH HZ YIH ENH FL...	0213	2012 - 09 - 20 16:10	合肥/骆岗机场	东方航空公司	0.4	0.6	30
4	CES5439	M	ZBSJ 0C TYN SUBUL TOREG W...	0150	2012 - 09 - 20 16:10	石家庄/正定机场	东方航空公司	0.4	0.6	30
5	CCA4272	M	ZHCC CG0 LRU SHX NSH SUBUL...	0148	2012 - 09 - 20 16:15	郑州/新郑机场	中国国际航空公司	0.7	0.3	30
6	CCA4306	M	ZGGG YIN QP MAMSI RO KWE...	0207	2012 - 09 - 20 16:15	广州/白云机场	中国国际航空公司	0.7	0.3	60
7	CSC8912	H	ZSHC WY T0L P200 P25 P263...	0238	2012 - 09 - 20 16:20	杭州/萧山机场	四川航空公	0.5	0.5	30
8	CSC8924	H	ZSNJ NJSB WHA HZ YIH ENH FL...	0221	2012 - 09 - 20 16:20	南京/禄口机场	四川航空公司	0.5	0.5	60
9	CDG4901	L	ZSJJ YQG WXI P279 SHX NSH...	0216	2012 - 09 - 20 16:25	济南/遥墙机场	山东航空公司	0.8	0.2	60
10	CSN3693	M	ZUGY KWE QNX XY0 YBN FJC 0...	0108	2012 - 09 - 20 16:25	贵阳/龙洞堡机场	中国南方航空公司	0.6	0.4	60
11	CCA4102	M	ZBAA CU BJCD SUBUL TOREG W...	0226	2012 - 09 - 20 16:25	北京/首都机场	中国国际航空公司	0.7	0.3	30
12	CCA4306	M	ZGGG YIN QP MAMSI RO KWE...	0207	2012 - 09 - 20 16:35	广州/白云机场	中国国际航空公司	0.7	0.3	60
13	CES2805	H	ZSNJ NJSB WHA HZ YIH ENH FL...	0158	2012 - 09 - 20 16:40	南京/禄口机场	东方航空公司	0.4	0.6	30
14	CHH7327	M	ZGSZ SZX IDUMA SHL TEPID YIN...	0225	2012 - 09 - 20 16:40	深圳/宝安机场	海南航空公司	0.2	0.8	60
15	CHH7327	H	ZGSZ SZX IDUMA SHL TEPID YIN...	0219	2012 - 09 - 20 16:40	深圳/宝安机场	海南航空公司	0.2	0.8	60
16	CSC8819	M	ZPPP KMG SL HX YBN FJC 0NIKI...	0100	2012 - 09 - 20 16:45	巫家坝机场	四川航空公司	0.5	0.5	30
17	CSN3403	M	ZGGG YIN QP MAMSI RO KWE...	0159	2012 - 09 - 20 16:45	广州/白云机场	中国南方航空公司	0.6	0.4	30
18	CCA4110	H	ZBAA CU BJCD SUBUL TOREG W...	0228	2012 - 09 - 20 16:50	北京/首都机场	中国国际航空公司	0.7	0.3	60
19	CSN3241	H	ZGKL GNPA R0 KWE QNX XY0 Y...	0136	2012 - 09 - 20 16:50	桂林/两江机场	中国南方航空公司	0.6	0.4	30
20	CES4303	L	ZSPD PUD C NSPK UNTAN NSZS GS...	0220	2012 - 09 - 20 16:55	上海/浦东机场	东方航空公司	0.4	0.6	60

法把这 20 架航班进行分类,形成 4 组,分组结果如表 3 所示。

在得到上面分组结果后,应用再次分配的算法来解决发生的冲突问题,同时给出单纯基于优先级的航班排序结果如表 4 所示。

表 3 分类结果列表

组号	组内成员
4	CES5439,CCA4306,CSC8912,CSC8924,CHH7327,CES2805
3	CCA4232,CES5435,CDG4901,CHH7327
2	CCA4272,CSN3693,CCA4306,CSN3241
1	CSN3903,CCA4102,CSC8819,CSN3403,CCA4110,CES5403

表 4 两种排序结果对比情况列表

二次应用优先级的时隙分配				基于优先级的时隙分配			
航班号	分配时隙	延误时间/分钟	延误损失费用/元	航班号	分配时隙	延误时间/分钟	延误损失费用/元
1	CCA4232	[16:00:00,16:03:00]	0	1	CCA4232	[16:00:00,16:03:00]	0
2	CSN3903	[16:03:00,16:06:00]	3	2	CSN3903	[16:03:00,16:06:00]	210
3	CES5439	[16:12:00,16:15:00]	2	3	CES5435	[16:12:00,16:15:00]	210
4	CCA4306	[16:15:00,16:18:00]	0	4	CES5439	[16:15:00,16:18:00]	315
5	CES5435	[16:18:00,16:21:00]	8	5	CCA4272	[16:18:00,16:21:00]	210
6	CSC8912	[16:21:00,16:24:00]	1	6	CCA4306	[16:21:00,16:24:00]	367.5
7	CSC8924	[16:24:00,16:27:00]	4	7	CSC8912	[16:24:00,16:27:00]	350
8	CDG4901	[16:27:00,16:30:00]	2	8	CSC8924	[16:27:00,16:30:00]	560
9	CCA4272	[16:30:00,16:33:00]	15	9	CDG4901	[16:30:00,16:33:00]	22
10	CSN3693	[16:33:00,16:36:00]	8	10	CCA4102	[16:33:00,16:36:00]	472.5
11	CCA4306	[16:36:00,16:39:00]	1	11	CSN3693	[16:36:00,16:39:00]	630
12	CCA4102	[16:39:00,16:42:00]	14	12	CCA4306	[16:39:00,16:42:00]	262.5
13	CES2805	[16:42:00,16:45:00]	2	13	CES2805	[16:42:00,16:45:00]	210
14	CHH7327	[16:45:00,16:48:00]	5	14	CHH7327	[16:45:00,16:48:00]	420
15	CHH7327	[16:48:00,16:51:00]	8	15	CHH7327	[16:48:00,16:51:00]	472.5
16	CSN3241	[16:51:00,16:54:00]	1	16	CSN3403	[16:51:00,16:54:00]	367.5
17	CSN3403	[16:54:00,16:57:00]	9	17	CSC8819	[16:54:00,16:57:00]	525
18	CSC8819	[16:57:00,17:00:00]	12	18	CCA4110	[16:57:00,17:00:00]	560
19	CCA4110	[17:00:00,17:03:00]	10	19	CSN3241	[17:00:00,17:03:00]	770
20	CES5403	[17:03:00,17:06:00]	8	20	CES5403	[17:03:00,17:06:00]	33
21	延误时间和损失的和	113	6 039.17	21	延误时间和损失的和	132	6 967.5

通过实验可以看到经过该算法排序后,得到的总的延误时间是 113 分钟,造成的总的延误损失费用为 6 039.17 元。单纯基于优先级考虑的时隙分配算法实验的总的延误时间是 132 分钟,造成的延误损失^[11]值是 6 967.5 元。通过这两项指标的对比,可以看到基于两次优先级的时隙排序算法模型使得总的延误时间

减少了 19 分钟,总的延误费用减少 928.33 元。该方法的改进还是起到了一定的效果。

4 结束语

基于两次应用优先级的 GDP 时隙分配算法是两次运用优先级解决不同问题的算法模型。在初次的计

算中目的是把航班按照航班计划里的 6 个关键性影响因素来通过计算优先级进行分类从而达到缩小一次性参与航班排序^[12]的规模,并且所在组的优先级也解决了排序时的大部分冲突问题。两次利用可变优先级来解决初次分配中所不能解决的冲突问题,这里充分考虑了不同航空公司对于各个方面的损失的重视程度是不同的,所以计算优先级时不同损失的权重系数是由各个航班所属航空公司给出的,而不是硬性地给定两个值,这样更加的合理。通过实际数据的多次仿真结果分析,同时也和单纯基于优先级的排序算法进行对比,在延误总时间和延误费用上都有所减少,从而说明该算法具有一定的参考价值和实用性。

参考文献:

- [1] 张兆宁,王莉莉. 空中交通流量管理理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [2] Vranas P B, Bertsimas D J, Odoni A R. The multi-airport ground-holding program in air traffic control[J]. Operations research, 1994, 42(2): 249-261.
- [3] 彭莉娟,康 瑞,王冬磊,等. 基于可变优先级的 GHP 时隙分配算法优化模型[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(1): 25-

(上接第 36 页)

针对 1 024×1 024 大小的多种低对比度数字图像做了大量实验,测试算法运算时间仅为 2.5 ms,算法计算简单,占用时间和空间资源都很少,便于实际应用。

4 结束语

文中提出一种结合直方图紧凑均衡的图像增强算法。该算法将稀疏的直方图分布紧凑化,同时构造自适应平台阈值选取方法,增强图像的细节,限制背景和噪声。该方法克服了传统平台直方图方法整体提升、细节不突出的缺点。理论分析和仿真实验表明,算法能够根据图像内容,自适应选择平台阈值,提升图像细节,较好地抑制背景,同时计算简单,便于实际应用。

参考文献:

- [1] 米曾真,谢志江,陈 涛,等. 重轨图像增强与边缘提取的关键技术[J]. 光学精密工程, 2012, 20(7): 1645-1652.
- [2] 韩希珍,赵 建. 结合偏微分方程增强图像纹理及对比度[J]. 光学精密工程, 2012, 20(6): 1382-1388.
- [3] 杨必武,郭晓松,王克军,等. 基于直方图非线性拉伸的红外图像增强新算法[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(1): 1-3.
- [4] 刘 靖,何志彪,易新建. 基于模糊逻辑的红外图像增强算

28.

- [4] 张 荣,周小数. CDM 时隙初始分配公平性研究[J]. 指挥信息系统与技术, 2010, 1(2): 51-55.
 - [5] 刘晓光. 基于 D-S 证据理论的推理系统研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2010.
 - [6] 罗志增,蒋静坪. 基于 D-S 理论的多信息融合方法及应用[J]. 电子学报, 1999, 27(9): 100-102.
 - [7] 胡明华,徐肖豪,陈爱民,等. 空中交通流量管理中的多元受限地面等待策略问题研究[J]. 航空学报, 1998, 19(1): 78-82.
 - [8] 张洪海,胡明华. CDM GDP 飞机着陆时隙多目标优化分配[J]. 系统管理学报, 2009, 18(3): 302-308.
 - [9] Vossen T. Fair allocation concepts in air traffic management [D]. Martland: University of Maryland, 2002.
 - [10] 徐肖豪,李 雄. 航班地面等待模型中的延误成本分析与仿真[J]. 南京航空航天大学学报, 2006, 38(1): 115-120.
 - [11] 赵文智,刘 博. 航班延误成本测算方法研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2011, 9(1): 5-10.
 - [12] Eurocontrol. Air traffic flow and capacity management operations: AT FCM users manual [EB/OL]. 2009-08-25 [2009-12-06]. <http://www.cfm.u.eurocontrol.int>.
-
- 法的研究[J]. 红外技术, 2003, 25(2): 13-14.
 - [5] 王明常,邢立新,杨毅恒,等. 动态方向加权二维多级中值滤波的图像处理[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2006, 24(1): 18-21.
 - [6] Tom V T, Wolfe G J. Adaptive histogram equalization and its applications[J]. SPIE, 1983, 359: 204-209.
 - [7] Silverman J. Display of wide dynamic range infrared images from PtSi-Schottky barrier cameras[J]. Optical engineering, 1990, 29(2): 97-104.
 - [8] Silverman J. Display and enhancement of infrared images [M]//Electro-optical displays. New York: [s. n.], 1992: 585-651.
 - [9] 唐志文,林亚平,彭胜标,等. 改变位权值的直方图均衡化方法研究和应用[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2001, 28(1): 103-106.
 - [10] Vickers V E. Plateau equalization algorithm for real-time display of high-quality infrared imagery[J]. Optical engineering, 1996, 35(7): 1921-1926.
 - [11] Sakellariopoulou S P, Costaridou L, Panayiotakis G. A wavelet-based spatially adaptive method for mammographic contrast enhancement[J]. Physics in medicine biology, 2003, 48(6): 783-803.
 - [12] Gilboa G Y, Zeevi N A S. Image sharpening by flows based on triple well potentials[J]. Journal of mathematical imaging and vision, 2004, 20: 121-131.

基于两次应用优先级的GDP时隙分配算法模型

作者：

魏海明，刘循，郑权，崔兰兰，孙青云，[WEI Hai-ming](#)，[LIU Xun](#)，[ZHENG Quan](#)，[CUI Lan-lan](#)，[SUN Qing-yun](#)

作者单位：

[四川大学 计算机学院, 四川 成都, 610064](#)

刊名：

[计算机技术与发展](#)

英文刊名：

ISTIC

[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：

[2013\(12\)](#)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201312009.aspx