## 参考文献2

摘要

机场登机口分配问题(AGAP)是运营管理者每天面临的最重要的问题之一。为了解决这一问题并解决其复杂性，人们做了许多研究。

任务的目标是将每个航班(飞机)分配到一个可用的登机口，同时最大限度地方便乘客和提高机场的运营效率。这个目标需要一个能够实时更改和更新门分配数据的解决方案。

在本文中，我们综述了这些问题的研究现状和各种解决方法。

我们的调查涵盖了理论和真实的AGAP与描述的数学公式和解决方法，如精确算法，启发式算法，元启发式算法。

我们也提供了一个研究趋势，可以启发研究人员在这个领域的新问题。

1介绍

机场管理的复杂性大大增加。

如果操作不当，可能会发生航班延误或事故，多米诺效应可能会影响整个机场的运营。

在机场中，与登机口分配问题(AGAP)相关的任务是最重要的日常操作之一，尽管问题很复杂，但许多研究都是为了解决这个问题而发表的。

任务的目标是将每个航班(飞机)分配到一个可用的登机口，同时最大限度地方便乘客和提高机场的运营效率。

大型航空公司通常需要在动态操作环境中以最有效的方式管理机场的不同登机口。这需要一个能够实时更改和更新gate赋值数据的解决方案。它还应该提供健壮和高效的中断管理，同时保持安全性、安全性和成本效率。

自1974年以来，为解决这一问题已经发展了许多方法。

Steuart[1]提出了简单的随机模型来发现门位置的效率使用。

该领域的研究进展缓慢，因为在25年内发表的论文不到15篇。

然而，2000年以后，人们对解决这个问题的兴趣增加了，直到今天，尽管增长不大。

这个问题的目的各不相同，取决于人们的观点。

第一个是作为机场所有者，也就是政府。

目标是最大限度地利用可用的登机口和候机楼[1-4]，最大限度地减少登机口冲突的次数[5]，最大限度地减少未登机的航班数量[3,6 - 9]，最大限度地减少航班延误[10]。

另一个观点是作为航空公司的所有者。

他们的目标是通过减少乘客在登机口之间的步行距离[3,6,7,11 - 18]和减少跑道到登机口[19]的距离来增加顾客满意度。

Dorndorf等人将目标划分为五个部分，分别是减少昂贵的飞机拖曳程序的数量，减少乘客的总步行距离，减少时间表偏差，减少无人值守飞机的数量，以及最大化偏好(即某些飞机应该进入特定的舱门)。

他们还定义了三种常用的约束条件，即在规定的时间内只能控制一架飞机，满足空间限制和服务要求，保证连续飞机之间的最短时间和最短地面时间。

目前为止，解决这类问题的方法和方法都是多种多样的，没有一种方法可以提供一种健壮的技术。本研究主要针对以上四点来评估解决门分配问题的趋势。具体而言，本研究将解决以下研究问题。

这个问题np难吗?

对于这个问题可以定义什么公式?

最近的解决问题的方法和技术有多有效?

根据目前的研究结果，可以对研究趋势提出什么建议?

从数学角度看，AGAP被表示为整数、二进制或混合整数、一般线性或非线性模型。还提出了二元或混合二元二次模型的具体公式。

利用二次分配问题(QAP)、派系划分问题(CPP)、调度问题等组合优化中其他著名的相关问题，建立了AGAP。

然而，关于AGAP的研究很少涉及随机或鲁棒优化问题。

组合优化研究的目标是找到一种算法，在多项式时间内保证问题大小的最优解，而实践中的主要兴趣是在合理的时间内找到接近最优或至少质量较好的解。人们提出了许多解决这一差距的方法，从品牌和绑定(B&B)到非常深奥的优化方法不一而足。

这些方法中的大多数可以大致分为“精确”算法或“启发式”算法。

精确算法是产生最优解的算法。

如3.1节所讨论的，已经使用了不同的精确求解技术来解决这个差距，在一些研究中，作者使用了一些优化编程语言，如CPLEX和AMPL。

基本上，差距是一个QAP，这是一个np难问题，如Obata[21]所示。

由于AGAP是NP-hard，研究人员提出了各种启发式和元启发式方法来解决这个问题。

在启发式算法中，理论上有可能找到最优解。

这种机会可能是遥远的，因为启发式通常会达到局部最优解，并在这一点上卡住。但元启发式或“现代启发式”引入了系统规则来处理这个问题。系统规则避免了局部最优，或者提供了离开局部最优的能力。

这些元启发式的共同特点是使用一些机制来避免局部最优。元启发式通过暂时接受导致目标函数值恶化的移动，成功地离开了局部最优。

章节3.2和3.3讨论了解决差距的启发式和元启发式方法。

多恩多夫等人[20,22]和程等人[23]等人提出了一些关于GAP主题的好的概述和注释书目，以及关于AGAP和对AGAP使用元启发式的好的文献。

本文综述了为解决GAP问题而开发的大量模型和技术。

在第2节中，我们详细介绍了问题的模型公式。

在第3节中，我们讨论了用于解决问题的解决方法。

我们在第4节中总结，并代表研究趋势。

2.AGAP配方及相关问题

许多研究人员制定AGAP为整数,二进制,或混合整数线性或非线性模型,其中一些制定二进制或混合二元二次模型,而一些研究人员制定AGAP一样著名相关问题等组合优化的二次分配问题(QAP)小团体分区问题(CPP)和调度问题,甚至作为一个网络表示。

然而，一些研究人员将AGAP定义为一个鲁棒优化模型。

在本节中，根据研究者处理门分配问题的方式，对AGAP进行了如下分类:

3所示解决方法

如第2节所述，第3.2和3.3节中介绍的大多数解决方案技术都与复杂的数学公式同时使用，导致计算时间非常高。

第3.1节讨论了精确的解决方案技术和用于解决所提模型的最优化编程语言。

第3.1、3.2和3.3节包括了关于求解AGAP的精确、启发式和元启发式方法的研究工作。

3.1。

具体的算法

精确算法是产生最优解的算法。

根据文献，采用了不同的精确求解方法来解决这一问题。

以分支和绑定为例，采用列生成等方法，在一些研究中，作者使用了CPLEX和AMPL等优化编程语言。

在本节中，仅介绍了关于求解AGAP的精确解技术的研究工作。

Li[5,32]利用CPLEX软件对提出的混合数学模型进行了求解。

Mangoubi和Mathaisel[11]放松了所开发的ILP模型的完整性，并使用CG解决了松弛的ILP模型;

得到了使总步行距离最小的最优解。

Bihr[12]提出了一种原对偶单纯形算法来求解，并找到了最优解。

Yan和Huo[2]使用了带有列生成和加权的单纯形算法来求解所提供的模型。

Bolat[30,34]、Li[39]、Yan and Huo[2]等采用分枝定界算法对所开发的模型进行求解。

参考[14]使用了分支和绑定算法，并将结果与禁忌搜索算法进行了比较。

3.2。启发式算法

基本上，差距是一个QAP，这是一个np难问题，如Obata[21]所示。

由于AGAP是NP-hard，研究人员提出了各种启发式和元启发式方法来解决这个问题。

本节是关于启发式算法的;

在启发式算法中，理论上有可能找到最优解。

这种机会可能是遥远的，因为启发式通常会达到局部最优解，并在那一点卡住，所以有必要有现代的启发式称为元启发式。

这种方法将在本节的下一部分中介绍;

提出了求解AGAP的启发式方法的研究工作。

Yan和Tang[10]开发了一个框架来处理具有随机飞行延迟的间隙;

开发的框架采用了嵌入其中的启发式方法。

Genc[42]使用了几种启发式方法，它们是“地面时间最大化启发式”、“空闲时间最小化算法”和“黄金时间启发式”，以最大限度地减少空闲门时间(或最大限度地增加指定航班的数量)作为性能度量。

Ding等人[6,35]设计了一种贪婪算法，以最小化无门飞行次数为目标来解决空档问题。

Lim等人[24]使用了几种解决方案，分别是“插入移动算法”、“间隔交换移动算法”和“贪婪算法”，来解决开发的GAP模型。

Yan et al.[29]提出了一个仿真框架，并开发了优化模型(2.1.2节)，然后使用两个贪心的启发式方法求解模型:第一个与乘客数量有关，第二个与航班到达登机口时间有关。

距离结果表明，优化模型优于启发式算法，而启发式仿真时间优于优化模型。

Diepen et al.[25]使用列生成的方法解决了得到的lp -弛豫和原始ILP模型。

Thengvall等人提出了一种启发式方法来解决枢纽关闭期间机场调度恢复问题;

该方法是一种束算法方法。

Dorndorf等人[8]采用Dorndorf和Pesch(1994)提出的基于弹射链算法的启发式方法求解转换模型(CPP模型)。

Mangoubi和Mathaisel[11]也采用了启发式方法，以乘客步行距离最小为目标来解决这个差距，并将得到的解与使用LP的最优解进行比较，得到结果的偏差。

Haghani和Chen[13]用启发式的方法解决了这个差距，目标是尽量减少乘客的步行距离。

Vanderstraeten和Bergeron[28]开发了一种直接向盖茨分配飞行的算法，名为ADAP;

所开发的算法是隐式枚举，它通过谨慎地应用一些变量选择标准(即“主链”的概念、为变量分配的权重和单个赋值约束)来提高速度。

Bolat[30]采用分支和修剪启发式方法，以使松弛时间范围最小化为目标，解决了间隙问题。

Bolat[34]使用HBB和SPH启发式方法来解决他为GAP开发的模型。

第一种方法(HBB)是一种B&B方法，它被一些限制节点数量的方法所使用，而第二种方法(SPH)开发了一种启发式方法，即在迭代之后只构建一个解决方案。

使用的启发式方法通过考虑所有可用的舱门和确定允许的最大舱门，一次分配一个航班。

3.3Metaheuristic算法

正如之前在3.2节中提到的，启发式常常会陷入局部最优解，但是元启发式或“现代启发式”引入了系统的规则来处理这个问题。

系统规则避免了局部最优，或者提供了离开局部最优的能力。

这些元启发式的共同特点是使用一些机制来避免局部最优。

元启发式通过暂时接受导致目标函数值恶化的移动，成功地离开了局部最优。

在本节中，介绍了元启发式算法求解AGAP的研究工作。

Gu和Chung[44]引入了求解AGAP的遗传算法模型。

所开发的模型已在高级编程语言中实现;

通过对不同场景的测试验证了所开发模型的有效性，结果表明所开发模型的性能是有效的。

Şeker和Noyan[9]开发了随机规划模型;

所建立的模型是一个大规模的混合整数规划。

采用禁忌搜索算法对模型进行求解，得到的结果质量较高。

Cheng等人研究了几种元启发式算法在求解缺口时的性能。

元启发式算法包括遗传算法(GA)、禁忌搜索(TS)、模拟退火(SA)以及SA和TS的混合算法。禁忌搜索(TS)的性能优于SA和GA，但混合算法在求解质量上优于TS。

Ding等人[6,35]使用禁忌搜索算法来解决GAP;

利用设计的贪心算法得到了初始解。

Xu和Bailey[14]开发了一个禁忌搜索算法来解决这个缺口，并将所开发的算法与一个分支和边界算法的结果进行了比较。

结果表明，两种方法均能较好地解决所研究的问题，但TS算法在CPU时间上表现较好。

郑等人[33]开发了求解GAP的模型(见第2节)，并使用TS算法获得了所开发模型的解。

Ding等人用模拟退火和SA与TS的混合来求解他们开发的GAP模型;

利用设计的贪心算法得到了初始解。

Lim等人提出了TS和memetic算法来解决这个缺口。

Drexl和Nikulin[3]使用Pareto模拟退火解决了多准则机场门的分配问题。

Hu和Di Paolo[36]使用一种新的具有统一交叉的遗传算法解决了多目标门分配问题(MOGAP)。

Bolat[31]使用遗传算法(GA)来最小化门空闲时间的方差或范围。

Wei和Liu[16]改进了一种混合遗传算法来求解模糊AGAP模型。

表2总结了最近用于AGAP的所有上述解决方案技术。

最近，Bouras et al.[45]将AGAP作为一个具有一定优先级和资格的并行机器调度问题来研究。

他们解决问题的目的是尽量减少以下目标:总成本、总延迟和最大延迟。

他们开发了三种启发式算法，并使用了三种元启发式算法(模拟退火、禁忌搜索和遗传算法)。

评估进行了238个生成的实例，但报告中只提出了50个实例。

结果表明，模拟退火是解决这一问题的最有效的元启发式方法。

4所示。

结论与研究趋势

在这项调查中，我们介绍了关于机场门分配问题的最新出版物。

所收集的文献旨在用精确或近似的方法确定研究的贡献和趋势。

列举了大量的文献来描述AGAP或其他相关问题的数学公式。

它们以这样一种方式分组，引导用户识别每个问题规范。

对于单个目标，整数/二进制模型和混合整数模型被描述。

对混合/整数模型的非线性公式也进行了描述。

很少有作者真正地使用现有的商业优化软件或他们自己的精确方法(分支和绑定…)提出精确的解决方案。

提出了用元启发式方法建立可行解并改进后一种解的建议。

针对多目标优化问题，建立了若干非线性目标模型，在合理的时间内用精确的方法解决了这些问题，但收效甚微。

本文还介绍了AGAP的相关问题。

一些AGAP的例子被定义为一些著名的组合优化问题，如QAP。

从2005年开始(表3，图1-2)，大多数人开始考虑使用启发式/元启发式作为工具来解决AGAP，因为这个问题是np困难的，时间解决的问题仍然是现有工具无法解决的。

研究转向使用这种方法是可以理解的。

机场管理人员的计划通常会因不确定因素而改变。

由于缺乏对稳健方法或随机方法的研究，而这些方法中只有很少的论文出现在这些主题上，研究人员可以使用一系列的方法，如进化方法、并行元启发式和自调整元启发式来应用于这个有趣的问题。

根据启发式算法的实际应用趋势，研究这些算法的组合将会很有趣

在超启发式方法的框架下，许多困难的组合优化问题已经通过启发式方法(Burke et al.[46])得到了解决，这促使我们推荐了这种方法。

加强弱点是超启发式的本质，因为它们巧妙地与启发式搜索空间一起工作。

这个想法是，在探索新的解决方案的过程中，选择适当的元启发式，其中当前使用的元启发式没有改进，或者通过使用现有元启发式的组件来生成新的启发式(Soubeiga [47];

Burke等人。

除了这些近似方法之外，还有一种方法可以探索:使用有效的精确方法(分支和界…)，并引入紧的下界。

在我们的综述中，我们发现只有Tang et al.[27]开发了一个下界，使用了经典的分枝定界算法，而其他作者将特殊的启发式与他们的方法结合(Bolat [30,34]， Li [39]， Yan and Huo[2])。

我们也注意到AGAP没有数据集。

有一组不同大小的实例可供研究人员共享，这可能很有趣，它们具有基准(最优和最著名的值)和CPU时间，以帮助比较方法，因为这是已知问题的情况:二次分配问题和旅行推销员问题。

参考文献3

在机场运营中，恶劣天气、航班延误和航班取消等干扰经常发生。

一个复杂的门分配计划很容易被打乱，可能会导致严重的后果。

因此，一种有效的门重新分配方法对航空工业具有重要意义。

在这篇论文中，我们提出了一种有效的门重新分配方法，以处理其中的中断目标函数是最小化航班延误总数、登机口重新分配操作次数和乘客错过次数的加权总和。针对纯门重分配问题，建立了两种多商品网络流模型问题和登机口重新分配问题与连接乘客。认识到固有的NP难性质的门再分配问题，有两种启发式算法提出了有效求解模型的方法。对所提出的模型和算法进行了测试基于美国大型航空母舰的真实数据和计算结果表明提出的方法可以在短时间内提供高质量的解决方案时间。

良好的登机口分配方案对有效利用登机口、提高乘客满意度具有重要作用。然而，恶劣天气、航班延误、航班取消等干扰是经常发生的，复杂的登机口分配计划很容易被打乱(Zhang et al.， 2015, 2016)。如果。可能会导致严重的后果在中断后，无法获得有效的gate重新分配计划。因此，高效和有效的方法为在中断后的门重新分配问题对于保持高服务质量是非常重要的。

在美国航空业，登机口是出租给航空公司的，因此航空公司负责规划登机口操作，这被称为航空专用登机口系统(Tang and Wang, 2013)。一些亚洲机场也采用了这种方式特定航空公司的登机口系统。欧洲和一些亚洲机场使用的备选登机口系统是机场专用登机口系统，这些登机口属于机场，机场负责规划登机口操作。

在登机口重新分配问题中，飞机相当于一个到达航班和一个起飞航班。如果飞机在地面上等待可用的登机口时，等待时间被定义为到达航班的延误。如果飞机停留在登机口等待晚点转机的乘客，等待时间被定义为起飞航班的延误。总航班延误被定义为所有航班延误的总和。门重分配操作的数量表示没有分配给他们最初计划的登机口的飞机数量此外，门相关的约束，如门只能容纳某些飞机类型和两架大型飞机不能同时分配到两个相邻的闸门，必须在闸门重新分配过程中满足。当涉及的飞机数量较少时，门控制器可以通过以下方式高效地生成门重分配计划尝试不同的选择。随着涉及的飞机数量增加，可能的组合数量也在增加显著。

很难有效地生成门重分配方案。因此，机场登机口管制员是

需要系统的优化方法来帮助他们有效地解决门重分配问题。

在本研究中，我们提出了一种新的优化方法来解决四种不同的门重分配问题考虑的备选方案:(1)将飞机重新分配到备选门(包括停车场);(2)延误飞机在停车等待一个可用的登机口到达时间;

(3)延迟飞机的推回时间，等待晚点转机乘客;

(四)在抵离航班等候时间较长时，将航空器拖至停车地点。

针对纯门重分配问题和门问题，建立了两种多商品网络流模型

分别为连接乘客的重新分配问题。除了上述两个目标(最小化航班延误和登机口重新分配操作的数量)之外，最小化乘客总转移距离在目标函数中包含了错过的乘客数量。在这两种模型中，每个门都被认为是商品，因此对应于一个网络。在每个门的网络中，分配一个可行的飞机序列它被定义为网络中的一个流。

第一个启发式算法是引导潜水启发式算法。基于一般上界分支的算法，在每次迭代中，选择多个飞行器，每一个它们固定在一个基于线性松弛解的门群上。如果每架飞机都被分配到一个登机口组，约束混合整数规划(MIP)模型由一个商业的MIP求解器直接求解。在某些情况下，重新分配时间窗口的长度可能非常长，第一个启发式算法无法生成在预先指定的时间范围内的解决方案。第二种启发式算法是变滚动地平线算法建议处理这些情况。它将整个时间窗口分解为多个重叠的时间间隔针对小尺寸问题的区间对应问题，采用导潜启发式算法可以有效地解决该问题。计算结果表明，所提出的算法能在5分钟内解决所有实例，且最优性最大差距小于13%。

问题描述

在建立数学模型之前，首先研究了门重分配问题的特征。

我们开始定义了门重分配问题中的几个关键元素。

(1)门重分配时间窗口:门重分配时间窗口定义允许门重分配操作的时间间隔。时间窗口的开始时间通常设置为第一次中断发生。时间窗口的长度是根据中断的严重程度设置的。它是理想的

在时间窗口结束时，初始的门分配计划是可行的。

如果在时间窗口内无法获得可行的解决方案，则会产生较大的惩罚成本，以尽量减少时间过后的进度违规窗口。

(2)飞机进港时间和回退时间:飞机进港时间定义为飞机进港时间首先到达登机口，飞机回退时间被定义为飞机被回退的时间

门口。图1中的示例演示了飞机的登机口到达和回退时间。大门被…占据飞机在登机口到达和回退之间的时间。

(3)涉及飞机重新分配的问题:如果飞机登机口到达时间在重新分配时间内窗口，这架飞机涉及到重新分配问题。在门重分配问题中，我们只考虑这些飞机。飞机与门到达时间前的时间窗口和推回时间内/后时间窗口，保留他们的最初的门分配计划(在时间窗口之前制定的)，因此他们不是涉及到重新分配的问题。

(4)门分配约束:有三种门分配约束，即飞机约束、门约束和邻接约束。

(a)飞机限制规定飞机类型只能分配给某些舱门。例如，一个大的飞机(波音777)不能只被分配给支线飞机。

(b)登机口限制规定，在每个时间点，登机口最多只能被一架飞机占用。

(c)邻接限制规定，由于飞机类型特性和闸门设施限制，不能将特定类型的特定飞机对同时分配到两个相邻的闸门。

(5)停机坪门:停机坪门定义为位于停车区的虚拟门。在某些情况下，如果没有门的话飞机可以在短时间内被分配到停车场的停机坪上。可以安排班车在终点站和停车场之间换乘乘客。因为停机坪门会给双方带来不便乘客和航空公司，应考虑罚款成本，以防止分配飞机停机坪大门。所有门的分配约束不应用于停机坪门。

(6)航班延误:在登机口分配操作中有两种航班延误。首先，如果飞机被控制在接地在它着陆后等待一个可用的门，然后等待时间被定义为它相应的延迟到达航班。

第二，如果一架飞机在预定的回退时间后停留在登机口等待迟到的乘客，那么等待时间就被认为是起飞航班的延误。虽然航班延误的价值可以我们在研究中采用了连续的理想、离散的航班延误值来建立网络流模型。每一个航班有几种不同的延迟选择，如10分钟、20分钟、30分钟等。

(7)登机口重新分配操作:在登机口重新分配解决方案中，飞机可能不会被分配到最初计划的登机口，而是被分配到备选登机口。

将飞机重新分配到一个备选登机口的定义为一个登机口re-assignment操作。

(8)重新分配时间窗口后的Gate违规:在时间窗口。然而，这可能是不可能的。图2给出了一个这样的例子。1号飞机参与其中

飞机1的重新分配问题和延误导致了重新分配时间窗口后的登机口违规。

连接乘客:在轮辐航空网络中，许多乘客在枢纽机场连接。

一个连接连接乘客的定义是一对到达和离开航班。

如果连接时间到达和离开的时间不足以从到达航班的登机口转移到起飞的登机口飞行中，乘客的连接中断。

(10)目标:在门重分配问题的目标函数中考虑了四个组成部分它们的加权和是最小的。

四个组成部分如下:

(a)航班延误总数;

(b)重新分配闸门的次数;

(c)错过的连接数;

和

(d)重新分配时间窗口后的冲突。