(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108564219 B
(45)授权公告日 2021.11.05

(21)申请号 201810344901.0
(22)申请日 2018.04.17
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108564219 A
(43)申请公布日 2018.09.21
(73)专利权人 四川眷诚天佑科技有限公司
地址 610000 四川省成都市金牛区二环路北一段111号西南交通大学创新大厦16楼1602-16
(72)发明人 文曙东
(74)专利代理机构 成都宏顺专利代理事务所(普通合伙) 51227
代理人 李顺德
(51)Int.Cl.
G06Q 10/04(2012.01)
G06Q 30/02(2012.01)
G06Q 50/30(2012.01)
(56)对比文件
CN 107657502 A,2018.02.02
CN 107451872 A,2017.12.08
CN 105279563 A,2016.01.27
CN 107093110 A,2017.08.25
Xin Yang et al.A Survey on Energy-Efficient Train Operation for Urban Rail Transit.《 IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems》.2015,第17卷(第1期),
审查员 杨颖娜

权利要求书1页 说明书6页

(54)发明名称

列车运行区段席位价格优化控制方法

(57)摘要

本发明涉及列车营运经济效益控制方法。本发明公开了一种列车运行区段席位价格优化控制方法。a、根据列车运行区间的停靠站点划分区段;b、设置各个区段的价格档数,各个区段价格档数不完全相同;c、建立最优化规划模型,设定席位资源约束条件;d、确定各个区段价格档数最大值F_{Max}=Max(F_{OD}^{*}),其他OD区段价格档数$F_{OD}^{*}<F_{Max}$时,也设置成F_{Max};e、根据步骤d设定的条件建立最优化规划模型,并对模型进行修正得到列车等效的最大化收益。本发明简化了计算,方便计算机进行建模计算。非常适合用于旅客列车不同区段自由设置价格等级数量时,解决规划模型中各个矩阵的计算机表达难题。

CN 108564219 B

1.列车运行区段席位价格优化控制方法，其特征在于，包括以下步骤：

a、根据列车运行区间的停靠站点划分区段；

b、设置各个区段的价格档数，各个区段价格档数不完全相同；

c、建立最优化规划模型，席位资源约束条件为：

$A\cdot X_{ODF}\leqslant C_l$，对任何相邻站点间的区段l

该表达式表示各个单区段上的旅客数量不超过列车定员数量；

其中，OD(Origin-Destination)表示列车服务旅客的起讫区段；ODF代表区段OD价格档数的第F档；X_{ODF}表示分配给某ODF的位置数量；l表示相邻站点的区段；C_l表示区段l上总的位置数量；$A=(a_{ij})m\times n$为关联矩阵，表示ODF与区段位置资源的关系；如果某产品j占用资源i，则$a_{ij}=1$，如果不占用资源i，则$a_{ij}=0$；矩阵A的第j个列向量A_j表示产品j与资源的关联情况；m为产品j的个数，即ODF的个数；n为资源i的个数，即单区段数量，等于列车停靠站数量减1；

d、确定各个区段价格档数最大值$F_{Max}=\mathrm{Max}(F_{OD}^{*})$，其他OD区段价格档数$F_{OD}^{*}<F_{Max}$时，也设置成$F_{Max}$；

e、根据步骤d设定的条件建立最优化规划模型，并对模型进行修正得到列车等效的最大化收益。

2.根据权利要求1所述的列车运行区段席位价格优化控制方法，其特征在于，步骤c中，最优化规划模型为：

求最大值：$\sum_{OD}\sum_{F=1}^{F=F_{OD}^{*}} f_{ODF}\cdot X_{ODF}$；　　(1)

约束条件为：$A\cdot X_{ODF}\leqslant C_l$，对任何相邻站点间的区段l；　　(2)

$0\leqslant X_{ODF}\leqslant ED_{ODF}$，对任何ODF；　　(3)

其中，式(1)表示总收益最大化表达式；F_{OD}^{*}为区段OD的价格档数；f_{ODF}为OD区段第F档价格；X_{ODF}表示分配给某ODF的位置数量；ED_{ODF}表示对某ODF的需求预测值；式(3)表示各个ODF的需求大于0并且小于或等于需求预测值。

3.根据权利要求2所述的列车运行区段席位价格优化控制方法，其特征在于，步骤e具体为：

修正优化模型式(1)中的f_{ODF}，把不存在的ODF区段价格档数的价格f_{ODF}设为负常数，式(3)中不存在的ODF需求期望值ED_{ODF}设为任意正值。

4.根据权利要求2所述的列车运行区段席位价格优化控制方法，其特征在于，步骤e具体为：

修正优化模型式(3)中的ED_{ODF}，把不存在的ODF区段期望需求ED_{ODF}设置为0，式(1)中不存在的ODF的价格f_{ODF}其值可设置为任意确定值。

列车运行区段席位价格优化控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及列车营运经济效益控制方法，具体而言，涉及列车运行区段席位价格优化控制方法。

背景技术

[0002] 目前，有美国、德国、法国等少数国家铁路执行了多档票价。从公开的文献来看，美国、法国等国执行多档票价的车次各个OD(Origin-Destination)区段都同时采用相同的多档票价策略。另外，网络型航空公司，各个OD区间同样是多档票价。而中国高铁网络发达，各个OD区段面临不同的市场竞争环境，有些OD区段面临其他运输方式(航空、大巴)激烈的竞争，有些区段则完全由高铁垄断，那么如果执行多档票价以吸引客流时，各个OD区段就应该有不同的票价策略，比如有市场竞争的区段则应该执行多档票价，吸引价格敏感旅客，行程距离较短，高铁起主导地位的区段需求价格则无弹性，可直接执行国家规定的固定票价，获取最优收益。

[0003] 列车通过多个站点，单次列车席位存量资源固定，其收益最优可用经典的运筹学模型求得。统一建立各个区段多档价格的优化模型。比如G1车次，线路共有北京、济南、南京、上海四个站点，包括下面6个OD区段：

[0004] [北京-济南]、[北京-南京]、[北京-上海]；[济南-南京]、[济南-上海]；[南京-上海]。

[0005] 如果每个区段设置3档价格，可以建立运筹学优化模型：

[0006] 求最大值：$\sum_{OD}\sum_{F=1}^{F=3} f_{ODF}\cdot X_{ODF}$ （1）

[0007] 约束条件为：$A\cdot X_{ODF}\leqslant C_1$，对任何单区段l； (2)

[0008] $0\leqslant X_{ODF}\leqslant ED_{ODF}$，对任何ODF； (3)

[0009] 其中，式(1)表示总收益最大化表达式。ODF代表区段OD价格档数的第F档；f_{ODF}为OD区段第F档价格；X_{ODF}表示分配给某ODF的位置数量；ED_{ODF}表示对某ODF的需求预测值。

[0010] 式(2)表示各个单区段上的旅客数量不超过列车定员数量。$A=(a_{ij})m\times n$为关联矩阵，表示ODF与区段位置资源的关系；如果某产品j占用资源i，则$a_{ij}=1$，如果不占用资源i，则$a_{ij}=0$；矩阵A的第j个列向量A_j表示产品j与资源的关联情况；m为产品j的个数，即ODF的个数；n为资源i的个数，即单区段数量，等于列车停靠站数量减1；

[0011] 式(3)表示各个ODF的需求大于0并且小于或等于需求预测值。

[0012] 这样的优化模型很容易建立起来，式(1)、式(2)、式(3)都可以设计成矩阵，并且纳入计算机建模计算。

[0013] 仍然以G1车次为例，设置站点北京为1，济南为2，南京为3，上海为4，式(1)中f_{ODF}可变为矩阵：

[0014] $[f_{121}\ f_{122}\ f_{123}\ f_{131}\ f_{132}\ f_{133}\ f_{141}\ f_{142}\ f_{143}\ f_{231}\ f_{232}\ f_{233}\ \cdots\ f_{341}\ f_{342}\ f_{343}]$

[0015] 同样，X_{ODF}也可以做类似转换，式(2)和式(3)也能做出矩阵的转换。

[0016] 如果要求区段[北京-上海]设置3档价格，其他5个区段都只有一档固定价格。那么

上面的优化模型如下：

[0017] 求最大值：$\sum_{OD\neq[北京,上海]} f_{OD1}\cdot X_{OD1}+\sum_{OD=[北京,上海]}\sum_{F=1}^{F=3} f_{ODF}\cdot X_{ODF}$ （4）

[0018] 约束条件：$A\cdot X_{ODF}\leqslant C_l$，对任何单区段l； (5)

[0019] $0\leqslant X_{ODF}\leqslant ED_{ODF}$，对任何ODF。 (6)

[0020] F_{OD}^{*}=1或3，OD＝[北京，上海]时为3，其余为1 (7)

[0021] 其中，当OD为[北京，上海]时，有三档价格，其他区段只有一档价格，这样的模型不方便式(4)、式(5)、式(6)转化为矩阵。特别地，如果列车经过站点较多，各个区段价格档数任意设置，要用矩阵来表达式(4)、式(5)和式(6)都有困难，特别是式(5)中的关联矩阵A最为困难，进而影响计算机建模计算。

发明内容

[0022] 本发明的主要目的在于提供一种列车运行区段席位价格优化控制方法，简化计算方法，方便计算机进行建模计算。

[0023] 为了实现上述目的，根据本发明具体实施方式的一个方面，提供了一种列车运行区段席位价格优化控制方法，其特征在于，包括以下步骤：

[0024] a、根据列车运行区间的停靠站点划分区段；

[0025] b、设置各个区段的价格档数，各个区段价格档数不完全相同；

[0026] c、建立最优化规划模型，席位资源约束条件为：

[0027] $A\cdot X_{ODF}\leqslant C_l$，对任何相邻站点间的区段l

[0028] 该表达式表示各个单区段上的旅客数量不超过列车定员数量；

[0029] 其中，OD(Origin-Destination)表示列车服务旅客的起讫区段；ODF代表区段OD价格档数的第F档；X_{ODF}表示分配给某ODF的位置数量；l表示相邻站点的区段；C_l表示区段l上总的位置数量；$A=(a_{ij})m\times n$为关联矩阵，表示ODF与区段位置资源的关系；如果某产品j占用资源i，则$a_{ij}=1$，如果不占用资源i，则$a_{ij}=0$；矩阵A的第j个列向量A_j表示产品j与资源的关联情况；m为产品j的个数，即ODF的个数；n为资源i的个数，即单区段数量，等于列车停靠站数量减1；

[0030] d、确定各个区段价格档数最大值F_{Max}=Max（F_{OD}^{*}），其他OD区段价格档数$F_{OD}^{*}<F_{Max}$时，也设置成F_{Max}；

[0031] e、根据步骤d设定的条件建立最优化规划模型，并对模型进行修正得到列车等效的最大化收益。

[0032] 进一步的，步骤c中，最优化规划模型为：

[0033] 求最大值：$\sum_{OD}\sum_{F=1}^{F=F_{OD}^{*}} f_{ODF}\cdot X_{ODF}$； （1）

[0034] 约束条件为：$A\cdot X_{ODF}\leqslant C_l$，对任何单区段l； (2)

[0035] $0\leqslant X_{ODF}\leqslant ED_{ODF}$，对任何ODF； (3)

[0036] 其中，式(1)表示总收益最大化表达式；F_{OD}^{*}为区段OD的价格档数；f_{ODF}为OD区段第F档价格；X_{ODF}表示分配给某ODF的位置数量；ED_{ODF}表示对某ODF的需求预测值；式(3)表示各个ODF的需求大于0并且小于或等于需求预测值。

[0037] 进一步的，步骤e具体为：

[0038] 修正优化模型式(1)中的f_{ODF}，把不存在的ODF区段价格档数的价格f_{ODF}设为负常数，式(3)中不存在的ODF需求期望值ED_{ODF}设为任意正值。

[0039] 进一步的，步骤e具体为：

[0040] 修正优化模型式(3)中的ED_{ODF}，把不存在的OD区段期望需求ED_{ODF}设置为0，式(1)中不存在的ODF区段价格档数的价格f_{ODF}其值可设置为任意确定值。

[0041] 本发明的效果是，简化计算方法，方便计算机进行建模计算。本发明让各个OD区段价格等级数量相同，方便用计算机表达关联矩阵A，非常适合用于旅客列车不同区段自由设置价格等级数量时，解决规划模型中各个矩阵的计算机表达难题。并且进一步的修正模型使得模型求解结果等效，有利于获得列车的最优化运营收益。

[0042] 下面结合具体实施方式对本发明做进一步的说明。本发明附加的方面和优点将在下面的描述中部分给出，部分将从下面的描述中变得明显，或通过本发明的实践了解到。

具体实施方式

[0043] 需要说明的是，在不冲突的情况下，本申请中的具体实施方式、实施例以及其中的特征可以相互组合。现将结合以下内容详细说明本发明。

[0044] 为了使本领域技术人员更好的理解本发明方案，下面将结合本发明具体实施方式、实施例，对本发明具体实施方式、实施例中的技术方案进行清楚、完整的描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的具体实施方式、实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施方式、实施例，都应当属于本发明保护的范围。

[0045] 本发明的列车运行区段席位价格优化控制方法，有两种价格优化控制方法，分别称为价格置负法和需求置零法。下面分别描述两种方法的处理流程。

[0046] 一、价格置负法

[0047] 根据列车运行区间的停靠站点划分区段；

[0048] 设置各个区段的价格档数，各个区段价格档数不完全相同。最大价格档数为F_{Max}=Max（F_{OD}^{*}），其他OD区段价格档数F*≤F_{Max}时，也设置成F_{Max}。这样，该列车收益最大化模型变为：

[0049] 求最大值：$\sum_{OD}\sum_{F=1}^{F=F_{Max}} f_{ODF}\cdot X_{ODF}$ （11）

[0050] 约束条件为：A·X_{ODF}≤C_1，对任何相邻站点间的区段1； (12)

[0051] 0≤X_{ODF}≤ED_{ODF}，对任何ODF； (13)

[0052] f_{ODF}＝负常数，当OD区段F*<F≤F_{Max} (14)

[0053] 这样，只需要修正式(11)中的f_{ODF}，把不存在的ODF区段的价格f_{ODF}设置为任意负常数，不存在的ODF需求期望值ED_{ODF}设置为任意正数。此时要使得式(11)计算值最大，那么分配给这些不存在的ODF的位置数量X_{ODF}必然为0，相当于该ODF不存在。如果设置这些不存在的X_{ODF}为正值，那么显然乘以f_{ODF}会降低式(11)的值，不能达到最优解。

[0054] 这样，每个OD区段都有相同的价格等级数量，就很容易建立起式(12)中矩阵方程，作为常规的运筹学规划问题输入计算机进行运算处理。

[0055] 特别地，有些商业化规划模型计算机软件计算上述模型，当$f_{ODF}=0$时，同样能获得$X_{ODF}=0$的优化结果，这也在本发明的保护范畴。

[0056] 二、需求置零法

[0057] 根据列车运行区间的停靠站点划分区段；

[0058] 设置各个区段的价格档数，最大价格档数为$F_{Max}=\mathrm{Max}(F_{OD}^{*})$，其他区段价格档数F*<$F_{Max}$时，也设置成$F_{Max}$。这样，列车收益最大化模型变为：

[0059] 求最大值：$\sum_{OD}\sum_{F=1}^{F=F_{Max}} f_{ODF}\cdot X_{ODF}$ （15）

[0060] 约束条件为：$A\cdot X_{ODF}\leqslant C_1$，对任何相邻站点间的区段1； (16)

[0061] $0\leqslant X_{ODF}\leqslant ED_{ODF}$，对任何ODF (17)

[0062] $ED_{ODF}=0$，当OD区段$F^{*}<F\leqslant F_{Max}$ (18)

[0063] 这样，设置式(15)中不存在的f_{ODF}值设置为任意正值，式(17)中把不存在的OD区段期望需求ED_{ODF}设置为0。此时要满足式(17)和(18)，那么分配给这些不存在的ODF的位置数量X_{ODF}必然为0，相当于该ODF不存在。

[0064] 这样，同样的道理，每个区段都有相同的价格档数，很容易建立起式(16)的矩阵方程，作为常规的运筹学求解问题输入计算机进行运算。

[0065] 实施例1(线性规划模型-价格置负法)

[0066] 2017年开行的西成高铁D1917，经过西安(站点1)、广元(站点2)、成都(站点3)，共三个站点。区段划分为：[西安-成都]、[西安-广元]和[广元-成都]，共3个区段。[西安-成都]、[西安-广元]只设一档价格，[广元-成都]有大巴竞争，设置两档价格。

[0067] 如果不做处理总收益最大化表达式为：

[0068] $f_{121}\cdot X_{121}+f_{131}\cdot X_{131}+f_{231}\cdot X_{231}+f_{232}\cdot X_{232}$ (19)

[0069] 约束条件为：$\begin{cases} X_{121}+X_{131}\leq C_1 \\ X_{131}+X_{231}+X_{232}\leq C_2 \end{cases}$ （20）

[0070] $0\leqslant X_{ODF}\leqslant ED_{ODF}$ (21)

[0071] 由于所有区段仅仅广元-成都有两级价格，其他区段都只有一档价格。对于国内大量停靠站点不同的车次，上面约束条件式(20)不方便用统一有规律的矩阵进行表达，不方便计算机进行计算。

[0072] 用第一种方法(价格置负法)建立运筹学线性规划模型如下：

[0073] 确定各个区段最大价格档数，本例$F_{Max}=2$；

[0074] 建立优化模型

[0075] 求最大值：$\sum_{OD}\sum_{F=1}^{F=2} f_{ODF}\cdot X_{ODF}$； （22）

[0076] 约束条件：$A\cdot X_{ODF}\leqslant C_1$，对任何相邻站点间的区段1； (23)

[0077] $0\leqslant X_{ODF}\leqslant ED_{ODF}$，对任何ODF； (24)

[0078] $f_{ODF}=-1$，当OD区段$F^{*}<F\leqslant F_{Max}$ (25)

[0079] 其中，式(22)、(25)合并转化为矩阵表达：

[0080]　求最大值：$V=[f_{121}\quad -1\quad f_{131}\quad -1\quad f_{231}\quad f_{232}]\cdot\begin{bmatrix}X_{121}\\X_{122}\\X_{131}\\X_{132}\\X_{231}\\X_{232}\end{bmatrix}$

[0081]　式(23)转化为矩阵表达：

[0082]　$$\begin{bmatrix}1&1&1&1&0&0\\0&0&1&1&1&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}X_{121}\\X_{122}\\X_{131}\\X_{132}\\X_{231}\\X_{232}\end{bmatrix}\leq\begin{bmatrix}C_1\\C_2\end{bmatrix}$$

[0083]　式(24)转化为矩阵表达：

[0084]　$0\leqslant[X_{121}\ X_{122}\ X_{131}\ X_{132}\ X_{231}\ X_{231}]$

[0085]　$\leqslant[ED_{121}\ ED_{122}\ ED_{131}\ ED_{12}\ ED_{231}\ ED_{231}]$

[0086]　这样，统一列车各个区段的价格档数，取最大值$F_{Max}=2$，仅仅把不存在的ODF价格f_{ODF}设为负值，不存在的ODF需求期望值ED_{ODF}按常规预测或估算得到。式(22)、式(23)、式(24)、式(25)都转化为矩阵求解，并且各个矩阵中各个元素下标有规律，方便计算机求解。

[0087]　实施例2：(整数规划模型——需求置零法)

[0088]　同样以西成高铁D1917为例，经过西安(站点1)、广元(站点2)、成都(站点3)，共三个站点。区段划分为：[西安-成都]、[西安-广元]和[广元-成都]，共3个区段。[西安-成都]、[西安-广元]只设一档价格，[广元-成都]有大巴竞争，设置两档价格。

[0089]　建立运筹学整数规划模型如下：

[0090]　确定各个区段最大价格等级数量，本例$F_{Max}=2$；

[0091]　建立优化模型

[0092]　求最大值：$\sum_{OD}\sum_{F=1}^{F=2}f_{ODF}\cdot X_{ODF}$；　　(26)

[0093]　约束条件：$A\bullet X_{ODF}\leqslant C_1$，对任何相邻站点间的单区段1；　(27)

[0094]　$0\leqslant X_{ODF}\leqslant ED_{ODF}$，对任何ODF，$X_{ODF}$为整数；　(28)

[0095]　$ED_{ODF}=0$，当OD区段$F*<F\leqslant F_{Max}$　(29)

[0096]　其中式(26)转化为矩阵表达：

[0097]　$$[f_{121}\quad f_{122}\quad f_{131}\quad f_{132}\quad f_{231}\quad f_{232}]\cdot\begin{bmatrix}X_{121}\\X_{122}\\X_{131}\\X_{132}\\X_{231}\\X_{232}\end{bmatrix};$$

[0098]　式(27)转化为矩阵表达：

[0099] $$\begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0\\0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}X_{121}\\X_{122}\\X_{131}\\X_{132}\\X_{231}\\X_{232}\end{bmatrix}\leq\begin{bmatrix}C_1\\C_2\end{bmatrix};$$

[0100] 式(28)、式(29)合并转化为矩阵表达：

[0101] $0\leqslant[X_{121}\ X_{122}\ X_{131}\ X_{132}\ X_{231}\ X_{231}]\leqslant[ED_{121}\ 0\ ED_{131}\ 0\ ED_{231}\ ED_{231}]$；

[0102] 其中，X_{ODF}为整数。

[0103] 这样，统一列车各个区段的价格档数，取最大值$F_{Max}=2$，仅仅把不存在的价格等级需求期望值设为0，(26)、(27)、(28)和(29)表达式都转化为矩阵求解，并且各个矩阵中元素下标有规律，方便计算机求解。