**基于交通模式与大楼人数分布的电梯客流量仿真算法**

摘 要 当今，高层建筑和智能建筑已全面进入人们的生活当中，电梯也成为了其中不可或缺的一部分。如今大部分的电梯系统一般存在着多台电梯，具有不同的功能和服务，电梯调度问题、电梯群控系统设计等问题也等待着人们去解决。在现实生活中，电梯的客流量测量比较困难，特别是测量乘客的起始楼层和目标楼层，但乘客的乘梯行为也存在着一定的规律，所以本文提出了一个基于交通模式与大楼人数分布的电梯客流量仿真算法，假设电梯系统中的乘客到达过程满足泊松分布，以交通模式和大楼人数分布主要考虑因素，为乘客的起始楼层和目的楼层建立楼层模型，使用蒙特-卡罗抽样法确定乘客具体的起始楼层和目的楼层，克服了常见做法中忽略当前大楼人数分布与交通模式之间的关系从而错误产生客流量模拟数据的问题。

关键词 客流仿真 客流分析 交通模式

**1 引言**

多电梯运行需要电梯调度技术和电梯群控系统的支持，在已知交通模式的情况下， 对电梯乘客客流进行模拟，可以有效提高电梯对大楼内电梯乘客需求预测的精度，使得电梯智能群控系统更加合理地进行派梯，从而缩短乘客等待电梯时间，减少大楼内电梯不必要的停靠，节约电梯运行的能源消耗。电梯智能群控系统的作用在于能够更好的疏导客流，因此需要对大楼内的电梯交通流特性进行深入分析研究[1]。电梯群控系统的交通流可以用电梯群服务系统的乘客数、乘客出现的周期以及乘客的分布情况来描述[2]。对于电梯客流量，目前的实践做法大多数是对某栋大楼全天候使用电梯的乘客进行测量，从而得到电梯客流量，但在实际操作中，由于客流量大、人手不足等原因，容易出现测量不精准、测量难度大、测量误差大等问题，难以准确测量乘客的到达时间、起始楼层、目标楼层等数据，不能满足我们对电梯客流量数据的需求。目前，人们对电梯客流量仿真的研究比较欠缺，但在高层建筑中多电梯的运行、调度和预约等方面都十分需要电梯客流量仿真的技术支持。本文假设交通模式已知和电梯乘客到达过程满足泊松过程的情况下，利用大楼的所在人数分布情况、交通模式，建立乘客到达时间模型、乘客起始密度向量和乘客起始-目标矩阵，结合蒙特卡罗抽样法得出某段时间内电梯乘客的客流仿真。本文的贡献在于，提出一种新的做法，避免了常见做法中，对客流量进行模拟时较少考虑大楼人数分布情况，同时在对比实验中呈现出较好的效果。

**2 背景**

对电梯客流量的模拟和仿真，理论研究相对较少。其中，张亦辉[3] 使用组合模型对电梯客流量进行预测和仿真,使用ARMA分析电梯客流量的线性变化部分，使用RBF神经网络对电梯客流量的非线性部分进行预测，然后将两者结果相结合再进行分析。同时，袁力田、张婕[4]使用灰色模型和最小二乘支持向量机对电梯客流量的线性规律变化进行预测。其中，运用机器学习和深度学习的技术对客流量进行分析和预测，都只能预测出某个时间段具体有多少乘客到达大楼内准备乘梯，而不能具体预测出乘客的乘梯时间、乘梯的起始楼层和目标楼层。在国外，大多数的研究都运用了乘客起始-目标矩阵，用于描述乘客以某楼层为起始楼层，某楼层为目标楼层的选择概率。在这当中，Malapert A、Kuusinen J M[5]以电梯所在大楼的总人数为主要考虑因素，建立乘客进入电梯行为、离开电梯行为、无法观察行为的条件约束，使用数学方法进行最优化求解，建立了乘客起始-目标矩阵，但此方法没有涉及到交通模式和大楼各层分布人数等因素，考虑因素较少。同样地，Al-Sharif L , Alqumsan A M A[6]也使用了乘客起始-目标楼层，同时运用到了交通模式，利用蒙特卡罗抽样法对电梯客流量进行了模拟和仿真，但其考虑情况比较复杂，为大楼的每一楼层分为了可进入楼层和居住楼层，此分类对电梯群控系统的帮助性不大。此外，泊松过程一般可用于分析一段时间内某个事件发生的频数，从而电梯乘客的到达情况可用泊松过程进行描述[7]。郑延军、张惠侨等[8]运用了上述原理，假设电梯乘客到达电梯情况满足泊松分布，建立了乘客到达时间模型，结合交通模式和利用乘客起始-目标矩阵，选择蒙特卡罗抽样法得出电梯客流量仿真。

目前，对于电梯客流量模拟仿真的主要方法是假设电梯乘客的到达满足泊松过程，从而计算出电梯乘客的到达时间。其次，根据大楼楼层高度设计乘客起始-目标矩阵，以当前不同交通模式的占比计算出乘客的起始楼层和目标楼层。但此类做法存在弊端，在建立起始-目标矩阵的过程中，没有充分结合实际大楼内楼层的所在人数分布情况，某些计算中只考虑了交通模式客流百分比，没有考虑到楼层所在人数分布，而楼层所在人数分布情况能有效的描述此时大楼的客流流动情况，比如，若处于上行高峰交通模式，大楼的各个楼层一般只存在少量的人员，大部分人员大都集中在大楼基层准备乘坐电梯去往大楼的其他楼层；若处于下行高峰交通模式，大楼基层的人员则会相对较少，绝大部分人员都处在各个楼层等待电梯前往电梯基层。本文即针对上述分析，基于交通模式与大楼人数分布的电梯客流量仿真算法，同时对乘客起始-目标矩阵的计算方式进行改进。

**4 主要方法**

本节将介绍本文中基于交通模式的电梯客流量仿真的具体做法。4.1将介绍使用起始-目标矩阵确定乘客的目标楼层，4.2描述如何使用乘客密度向量选择乘客的起始楼层。

**4.1 确定目标楼层**

本文使用起始-目标矩阵描述电梯乘客的起始楼层和目标楼层，同时用来确定电梯乘客的目标楼层，起始-目标矩阵的定义如下：

（1）

其中，表示从乘客选择从第层到第层的相对概率，具体计算如下：

（2）

（3）

（4）

（5）

表示第层楼层所在人数，表示第层楼层的相对所在人数。其中公式（2）需要结合到算法1中，所以参数的用意在于，若处于上行高峰的交通模式时，大楼的各个楼层中，相对所在人数越少的楼层，被选择作为目标楼层的楼层的概率就越高，这也与实际情况相符，在上班高峰期间，大楼的各个楼层一般只存在少量的人员，大部分乘客大都集中在一楼准备乘坐电梯。而对于公式（3），其情况也与公式（2）类似，参数设置的用意在于，当处于下行高峰的交通模式下，绝大部分乘客都在各个楼层等待电梯准备前往一楼，各个楼层中，相对所在人数越多的楼层，被选做从此楼层前往一楼的概率就越高。考虑公式（4），为当前楼层的所在人数，层间各楼层的交通在实际情况中比较难确定其趋向，随机性比较大，没有明确的规律和关系，所以在本论文中，作为起始楼层所在人员越少，其选择第层的相对概率就越高。对于公式(2)、(3)、(4)，考虑了楼层所在人数和楼层相对所在人数，能够充分利用大楼人数分布和交通模式，通过此两种影响因素，避免大楼人数分布与交通模式不匹配时，算法依旧产生单一交通模式的客流仿真数据，从而能一定程度上实现在大楼人数分布发生改变时能输出对应的客流仿真数据。

如算法1，使用蒙特卡罗抽样法对乘客的目标楼层进行选择。在选择目标楼层时，首先需要首生成一个服从分布的随机数，并计算当前楼层的选择概率和当前的楼层累加概率，是确定了起始楼层后，为所有以此起始楼层出发到达的目标楼层的起始-目

|  |
| --- |
| 1：算法1 |
| 2: 若，则转（4） |
| 3： 转（2） |
| 4：第个楼层即为目标楼层 |
| 5：结束 |

算法1 选择目标楼层

标矩阵各个元素的累加占比，当楼层累加概率大于或等于当前的随机数，则选择当前楼层为目标楼层；若楼层累加概率小于随机数，则计算下一楼层的选择概率并更新累加概率，然后再判断累加概率和随机数的大小关系，直到计算出目标楼层。

**4.2 确定起始楼层**

在本文的方法中，大楼内会存在一个总体大楼存在着一个总体交通模式，在此交通模式下，每个楼层楼的乘客可具有不同交通模式占比，能够影响着大楼的总体交通客流量趋势，本论文使用起始密度向量描述上述概念，同时用于确定起始楼层，如公式（6）：

（6）

其中，表示楼层序号，为电梯所在大楼的楼层数，表示从第层出发的与交通模式相关的楼层相对客流量，、、分别为上行相对客流百分比、下行相对客流百分比、层间相对客流百分比。其中，一楼乘客只具有上行相对客流占比，其他楼层具有下行相对客流占比和层间相对客流占比，此设置的原因在于令一楼所在人员控制上行高峰，即由一楼上行的乘客；其他不包括一楼的楼层所在人员控制下行高峰和层间交通，即由其他楼层下行到一楼的乘客和层间不包括一楼的其他楼层上行和下行的乘客，这两者囊括了大楼内的所有通行。

得到乘客起始密度向量后，即可计算乘客的起始楼层，具体如算法2。其中，与算法1类似，每当为一名乘客选择起始楼层时，首先需要生成一个服从分布的随机数，并计算当前楼层i的选择概率和当前的楼层累加概率，是各个楼层起始密度向量的累加占比，当楼层累加概率大于或等于当前的随机数，则选择当前楼层为起始楼层；若楼层累加概率小于随机数，则计算下一楼层的选择概率并更新累加概率，然后再判断累加概率和随机数的大小关系，直到计算出起始楼层。

|  |
| --- |
| 1： |
| 2: 若，则转（4） |
| 3： ，转（2） |
| 4：第个楼层即为起始楼层 |
| 5：结束 |

算法2 选择起始楼层

**5 实验**

按照之前的结论，考虑三种交通模式，根据实际交通客流量情况和上述公式，每种交通模式下都有不同的客流相对百分比，具体三种交通模式的参数取值如表1：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **交通模式** | **上行高峰** | **下行高峰** | **层间交通** |
|  | 0.9 | 0.05 | 0.05 |
|  | 0.05 | 0.9 | 0.05 |
|  | 0.05 | 0.05 | 0.9 |

表1 三种客流相对百分比的取值

在实验中，对三种交通模式都实现交通客流量仿真。实验对上行高峰模式和下行高峰模式，将实现两个场景。第一个场景为上行高峰大楼所在人员分布，即一楼人数为范围在(50,100)内的随机数，而其他楼层的人数设置为范围在(1,15)内的随机数；第二个场景为下行高峰所在人员分布，即一楼人数为范围在(1,15)内的随机数，而其他楼层的人数设置为范围在(150,200)内的随机数。对于层间交通模式，实现的场景为一楼人数为50，其他楼层人数为范围在(100,150)内的随机数。实验如表2、表3和表4。其中，表2内的上行电梯占总方向百分比指在本次测试中，上行方向的乘客占所有乘客的百分比；一楼起始楼层上行占总方向百分比指在以一楼作为起始楼层且乘客为上行方向占所有乘客的百分比；一楼起始楼层上行占上行电梯百分比指一楼作为起始楼层且乘客为上行方向占所有上乘客的百分比，表3中的下行电梯占总方向百分比、一楼目标楼层下行占总方向百分比、一楼目标楼层下行占下行电梯百分比与上述定义类似，只是方向和目标楼层中有所区别。对于上行高峰交通模式，上行高峰大楼所在人员分布为正常分布，下行高峰所在人员分布为非正常分布，因为在上行高峰模式下，大多数人员集中在一楼乘坐电梯，而其他楼层分布着少数人员；对于下行高峰交通模式，下行高峰大楼所在人员分布为正常分布，上行高峰所在人员分布为非正常分布，原因在于大多数人员集中在各个楼层准备乘坐电梯，一楼则存在少量人员。

三种交通模式各仿真30次，实验假设乘客到达情形满足泊松分布，平均每秒乘客到达数取值为3，对于每个交通模式，进行均值和方差的求解。根据实验，本文所提出的方法能判断出与当前交通模式不符的出非正常人员分布，产生的数据充分考虑了交通模式和大楼人数分布等因素，没有产生实际情况下与当前交通模式不符的客流量仿真数据，当遇到非正常大楼人数分布的情况时，没有依旧产生与原设置的交通模式相同的客流量数据，即设置了上行高峰模式，而遇到下行高峰所在人员分布时，不会产生上行高峰模式所对应的客流量数据，对于下行高峰模式亦然。同时，本文方法所产生数据的偏离程度不高，数据稳定性较好；下行高峰模式和上行高峰模式的情况类似；在层间交通模式下，产生的仿真数据在运行方向方面比较平均，不会产生某种运行方向过多的情况，且产生的仿真数据比较稳定。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 上行电梯占总方向百分比 | 一楼起始楼层上行占总方向百分比 | 一楼起始楼层上行占上行电梯百分比 |
| 正常分布方差 | 0.00192023 | 0.003388521 | 0.0017507 |
| 正常分布均值 | 0.883003226 | 0.750612903 | 0.852235484 |
| 非正常分布方差 | 0.003781269 | 0.00203244 | 0.001355267 |
| 非正常分布均值 | 0.426533871 | 0.014632258 | 0.037635484 |

表2 本论文上行高峰下在不同楼层人数分布中的数据对比

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 下行电梯占总方向百分比 | 一楼目标楼层下行占总方向百分比 | 一楼目标楼层下行占下行电梯百分比 |
| 正常分布方差 | 0.000824509 | 0.001171225 | 0.00119727 |
| 正常分布均值 | 0.90196129 | 0.799332258 | 0.886574194 |
| 非正常分布方差 | 0.003345119 | 0.00135851 | 0.003818626 |
| 非正常分布均值 | 0.595787097 | 0.198632258 | 0.334719355 |

表3 本论文下行高峰下在不同楼层人数分布中的数据对比

|  |  |
| --- | --- |
|  | 上行电梯占总方向百分比 |
| 方差 | 0.002647976 |
| 均值 | 0.490296774 |

表4 本论文层间交通的描述数据

**5 结论**

本文考虑了三种交通模式，利用其在现实中的特点模拟了大楼的各个楼层分布人数，并且结合大楼分布人数设计了电梯客流仿真算法，在已知平均每秒到达乘客数和上行高峰相对客流量、下行高峰客流相对客流量、层间交通相对客流量的情况下，即可对电梯客流量进行仿真，能有效模拟乘客到达电梯的时间和乘客的起始楼层及目标楼层，同时，本文方法也能根据大楼人数分布的变化，输出相对应的客流量模拟数据。本文方法适用的现实场景十分广泛，包括机场、酒店、车站等人流量十分巨大的场所或具有较高楼层的建筑，有助在前面所述的楼宇中进行多电梯调度和分配系统的测试和研究。同时，此算法与大楼各个楼层分布人数及交通模式高度关联，但实际情况会比预测情况更加复杂，比如更加复杂的交通模式、未知大楼人数分布等情况。再者，每个楼层是否能设置不同的相对客流量、平均每秒到达乘客数目能否在起始楼层和目标楼层的确定过程中可起到作用，这几点也是以后研究客流量仿真的方向。

**参考文献**

1. 李俊芳. 电梯交通流量特性分析及预测方法研究[D]. 天津大学, 2013.
2. Barney G C, Dos Santos S M. Elevator traffic analysis, design and control[M]. Inst of Engineering & Technology, 1985.
3. 张亦辉. 组合模型在电梯客流量预测中的仿真研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(11): 192-195.
4. 袁力田, 张婕. 电梯客流量预测算法的仿真研究[J]. 计算机仿真, 2012, 29(10): 236-239.
5. Malapert A , Kuusinen J M . Estimation of elevator passenger traffic based on the most likely elevator trip origin-destination matrices[J]. Building Service Engineering, 2017:014362441770787.
6. Al-Sharif L , Alqumsan A M A . An integrated framework for elevator traffic design under general traffic conditions using origin destination matrices, virtual interval, and the Monte Carlo simulation method[J]. Building Services Engineering Research & Technology, 2015, 36(6):34-37 vol.1.
7. 周玮. 电梯群控系统的调度算法研究[D]. 华中科技大学, 2004.
8. [1]郑延军,张惠侨,叶庆泰, 等.电梯群控系统客流分析与仿真[J].计算机工程与应用,2001,37(22):139-141. DOI:10.3321/j.issn:1002-8331.2001.22.051.
9. 德文, 志成, 牛. 电梯选型, 配置与量化[M]. 中国电力出版社, 2005.
10. 朱绍宇,朱德文.电梯交通运行模式及其运行周期讨论[J].中国电梯,2018,29(6):38