SParking:一个双赢的数据驱动的合同停车共享系统

摘要

随着现代城市车辆的快速增长，寻找停车位对司机来说变得很困难，特别是在高峰期。为了缓解停车困难，充分利用城市停车资源，合同停车共享服务允许司机在车主的同意下支付停车费，达到双赢的目的。 为了验证SParking的有效性，我们对中国武汉368个停车场和14,704个停车位的7个月真实停车数据进行了评估。实验结果显示，SParking在停车时间预测方面达到了90%以上的准确率，合同停车位的平均利用率提高了35%。

1引言

寻找一个空闲的停车位对司机来说是很困难的，而且会带来额外的街道交通，尤其是在高峰时段。根据最近的一项调查[7]，45%的街道交通是由寻找停车位引起的，这导致了严重的交通拥堵和空气污染。为了减轻停车的痛苦，许多研究人员已经调查了与停车有关的问题。一些研究提出了利用公共停车场的空置停车位的方法[16,25]。此外，研究人员提出调度算法来缓解公共停车场的压力[13,19]。

与现有的研究不同，我们提出了一个受共享经济思想启发的合同停车共享系统。例如，由于大量的停车需求和有限的医院停车位，在工作时间内，在医院停车是很困难的。同时，由于车主外出工作，周边社区有大量的空置车位。如果我们允许司机在车主的同意下使用这些合同停车位，停车难的问题就会得到缓解。实现合同停车位共享是一个具有挑战性的问题，原因有以下几点：具体来说，合同停车位的使用是动态和不确定的。此外，在供需不确定的情况下，很难实现合同停车位和停车要求之间的最佳匹配，也很难避免车主和二级用户的停车冲突。

由于物联网技术的发展[8,15,20]，大多数现代停车场使用各种传感器记录车辆的细粒度停车数据，包括进入和离开的时间戳。利用细粒度停车数据，我们提出SParking，一个数据驱动的合同停车共享系统，旨在充分利用合同停车位资源，为在线合同停车共享问题提供一个最佳解决方案。

为了实现这一目标，我们首先引入了一个基于熵的模型来决定那些有效的空置合同停车位，这些停车位的利用率足够规律，可以共享。最后，SParking通过一个最佳调度算法在停车请求和可用的合同停车位之间进行停车调度。

据我们所知，这是第一个提出合同停车共享来解决停车问题的工作。合同停车共享提高了停车位的利用率，实现了临时停车司机、合同停车位所有者和停车场管理者的互利共赢局面。 -基于现实世界的停车数据，我们提出了一个预测模型，旨在预测合同停车共享的可用停车时间，并考虑到空间时间、气象和假日因素。

为了验证我们设计的有效性，我们在涉及368个停车场和14,704个停车位的七个月真实世界停车数据上评估了我们的设计。

第3节描述了合同停车共享系统的系统结构和挑战。第4和第5节描述了我们系统的设计和实现。第6节评估了SParking的性能。第7节讨论了吸取的教训和局限性。在第8节中，我们回顾了相关的工作，然后在第9节中总结了本文。

2事实与理由

在这一节中，我们解释了合同停车位共享的见解，其目的是为了缓解停车困难。通过实证数据分析，我们展示了共享合同停车位的潜力。

2.1停车困难和交通拥堵

据统计，2018年第三季度，美国汽车保有量达到2.81亿辆，比上年增加约700万辆[4].2018年，中国新注册汽车3172万辆，汽车总量达到3.27亿辆，比上年增长10.51%[5].除了停车难，寻找停车位产生的交通量超过总流量的30%[21]。

面对巨大的停车压力，完全依靠有限的公共停车位难以缓解现有的停车问题。在本文中，我们建议探索合同停车共享服务的潜力。

2.2合同停车位共享的潜力

我们通过部署在366个社区停车场的监测探头来收集武汉市的停车记录。基于数据集，我们在图1中显示了武汉市的300多个停车场，这些停车场基本上覆盖了武汉市的各个商业区。我们发现一定数量的车位业主的停车行为是有规律的，这些合同车位在业主的同意下适合用于共享目的。

考虑到时间边界和不确定的停车时间，我们应用散点来描述车主的停车行为，包括开始时间和停车时间。例如，坐标[0◦,8]表示合同车位车主在0点出门，8小时后回家，这表明车位在0点开始闲置，可用停车时间为8小时。

如图2左图所示，散点分布显示，该合同车位车主几乎在早上8:30出门，8-10小时后回家。然而，图2中右图的合同车位车主的停车行为是不规则的。如图2所示，如果散点较近，车位的出门时间和出门时间都比较固定，有可能成为共享合同车位。

3系统综述

3.1停车数据收集

我们的停车场管理平台收集了城市路外停车场的信息，并实现了路内和路外停车场的数据交换和共享。智能停车场管理系统包括停车场车辆进出、在线交通流引导和停车费用收取等几个模块。车辆通过刷卡或拍照进行图像识别进出停车场，进入或离开停车场的车辆将被记录下来，这是我们用来分析停车行为的重要数据。

3.2设计要求

为了解决停车难的问题，我们提出了合同停车位共享系统，该系统的设计要满足以下要求。除了提供基本功能外，即：需要建立一个合同停车位共享平台。为了保证合同车位共享系统的顺利实施，操作应尽可能简单，以实现用户友好的应用；由于不同合同车位业主的停车习惯不同，合同车位需要是一个指定的车位，而不是停车场内的任何车位，因此系统需要识别特定的免费车位，并准确引导需要停车的司机到合同车位。

3.3挑战

为了满足这些要求，在开发合同停车共享系统时需要解决两个主要挑战。-如第二节所述，司机很难在公共停车场找到停车位。为了充分利用私人停车位，我们的系统需要找到可用的合同停车位并准确预测其可用的停车时间。-为了进行实时停车调度，我们的系统需要有效地计算出推荐的合同停车位，同时最大限度地提高合同停车位的利用率。

3.4系统架构

我们的合同停车位共享系统是在原有的停车场管理系统的基础上，利用原有系统获取数据，在平台上处理和调度停车位。

传感组件：传感组件作为数据输入模块，收集五个数据集：(i)车位的历史停车记录，(ii)车辆每天的出发信息，(iii)用户的位置，(iv)所需的停车时间，以及(v)天气数据。天气数据来自气象局，用户信息通过应用程序收集，其他数据来自停车场的物联网系统。这些传感数据集被实时发送到调度中心的服务器，作为计算组件的输入。

计算服务器：计算服务器接收这些上传的数据，然后提供实时可用的停车时间分析。当出现新的停车需求时，计算中心会尽快分配一个合适的空闲停车位。最后，结果被发送到客户端APP。

行动组件：在收到服务器的调度结果后，客户端程序负责引导目标停车位。

4停车行为分析

如第2节所述，并不是所有合同停车位的所有者的停车行为都是有规律的。停车时间不规律的停车位不适合共享。我们使用信息熵来量化停车行为的规律性。在选择适合停车的停车位后，我们提出一个基于先知的预测模型来预测停车位的可用时间。

4.1停车行为的熵值

为了获得潜在的合同停车位，我们需要找到有正常停车行为的合同停车位。我们利用信息熵来表示合同停车位所有者的停车行为。

其中，U是完整的随机变量集，p是第i个随机事件的概率。合同车位的信息熵越大，停车行为就越不规范。

4.2特性选择

由于现实世界的环境因素在停车行为中引入了很高的动态性，所以选择专业的特征来提高预测的准确性是很重要的。此外，我们注意到2016年6月9日有一个特别的亮点，接下来的三天也与其他时期不同。这是因为2016年6月9日至2016年6月11日是中国的端午节假期，而原来的周末6月12日由于假期的调整需要工作。

天气状况是影响停车共享服务的另一个重要因素。我们将晴天定为1，大风、多云定为0.5，雨天、雪天或其他不方便的天气定为0.如图5所示，天气变化基本上不影响合约停车位的可用停车时间。

4.3预测模型

在选择适当的特征后，我们建立了基于学习的模型来预测合同车位的停放时间。在我们的系统中，我们基于Prophet模型进行时间预测[24]。Prophet是一个预测时间性捕猎数据的框架，它考虑了多种非线性趋势[3]。-每小时、每天或每周的观察，至少有几个月的历史。 -强烈的多种 "人类尺度 "的季节性：一周中的一天和一年中的时间。 -不定期出现的重要的特殊日子，如节假日和特殊天气。-合理数量的缺失观测值或大的离群值。 在我们的模型中，基于对合同车位所有者停车行为的分析，我们选择了三个主要部分来建立时间序列，包括趋势、周期性和假期。

其中g（t）是一个非周期性的趋势函数。我们的模型通过从数据中选择趋势变化点来自动检测趋势变化。s(t)表示每周或每月或每年的周期性变化，适用于傅里叶序列建模。 h(t)代表不定期发生的特殊日子的影响，e是一个误差项，表示一些特殊的变化。

为了进一步验证我们预测方法的有效性，我们将基于Prophet的模型与其他三种广泛使用的预测模型进行了比较。Historical Average(HA)[10]是时间序列预测的一个基本模型，它利用同一时间和地点的历史观测值的平均值来预测未来的数据。Auto Regressive Moving Average(ARMA)[2]用两个多项式对静止的随机过程进行了类似的描述：动量和均值反转效应(AR)和白噪声项中观察到的冲击效应(MA)。 随机森林(RF)[23]是一种树状预测器的组合，每个树都取决于独立采样的随机向量的值，并且森林中的所有树都具有相同的分布。长短期记忆(LSTM)[1]是一种具有反馈连接的循环神经网络结构。

5停车位调度

在这一节中，我们定义了停车调度问题，然后提出其解决方案。我们提出了一种算法来计算最大的合同停车位利用率。

5.1停车调度问题的定义

调度问题一般可以理解为机器和工作之间的分配关系。多个工作按照一定的算法分配给多个机器。这些问题大多是NP-hard问题[14]。在我们的系统中，我们向正在寻找停车位的司机推荐附近几个停车场的可用合同停车位。

我们的调度算法的优化目标是使停车位的总利用时间最大化。我们假设有m停车请求的时间段，n停车位，并且满足 n<m. 在我们的停车调度问题中，我们采用了分层区间调度法来减少复杂性。我们假设最多𝑚个空闲时间段是重合的，并将n个空闲时间段分成l个子集Sℎ（ℎ=1，...，l）。因此，每个子集中的时间段是相互排斥的。我们把Sℎ称为第ℎ层。

5.2最优方案

动态编程是一种通过将原始问题分解为相对简单的子问题来解决复杂问题的方法。

经过分层处理，我们根据以下建模思路改进了动态编程算法。我们假设有x层满足停车结束时间fn的需求，然后将fn放在其中一个x层，或者不放，即有x+1种情况的需求fn。通过自下而上的迭代方法，可以得到模型的最优结果。算法的细节见算法1。

6系统评估

在这一节中，我们在中国武汉的368个停车场和14704个停车位的真实世界停车数据集上评估了合同停车共享系统的设计。

6.1比较算法

我们比较了三种调度算法。

-先到先得算法（FCFS）。停车请求根据其生成时间进行服务。第一个停车请求有最高的优先权。这是一种常见的调度算法。- 最长先得算法(LFS)：停车请求根据停车时间的长短进行服务，最长的停车请求将被首先安排。-SParking。动态编程算法为停车请求计算出可行的调度方案，并选择停车位利用率最高的方案。DP实现了最佳的调度方案，但它很耗时。

6.2评价标准

我们根据真实世界的停车场进出记录，获得车辆进出的分布特征。

在实验中，我们产生了大量的符合分布规则的停车请求。每个实验都要重复一千次。我们的系统倾向于在半分钟内给出结果，换句话说，半分钟内的停车请求会被安排在一起。这个时间会随着停车高峰期的到来在一个小范围内变化。

6.3实验结果

不同算法的停车时间。我们以一个有10个停车位的社区为例，绘制了停车时间。如图7所示，该社区在一天内提供了3914分钟的停车时间。SParking得到最长的停车时间为2221分钟。FCFS和LFS的性能稍差。我们的系统将合同停车位的利用率提高了50%以上。

图8显示了三种不同调度算法的利用率。可以看出，我们的算法比FCFS和LFS更好。

我们观察到，随着停车请求数的增加，FCFS和LFS的运行时间与SParking的运行时间相比可以忽略不计。这是因为我们的停车调度问题是NPhard，而SParking使用动态编程来获得解决方案，这导致了更长的运行时间。然而，在短时间和小范围内的停车请求数量并不多，所以SParking的复杂性是可以接受的。

可用停车位的影响。影响系统性能的最典型和最重要的因素之一是可用停车位的数量。我们已经得到了所有可用停车位数据的结果。但在实践中，并不是所有的合同车位业主都愿意分享他们的车位。

我们认为只有80%的合同车位所有者愿意参与合同车位共享项目。图10显示，随着停车位数量的减少，停车位的最大利用率反而上升了。这是因为随着停车位数量的减少，可能的分配方案的数量也在减少。然而，总的停车时间却减少了。停车时间波动的影响。另一个关键影响因素是停车时间的波动。在我们的系统中，估计的停车时间是由司机输入我们的应用程序。因此，在有些情况下，司机的实际停车时间会超过他们输入的时间。此外，签约停车位的可用时间来自于我们模型的预测，我们也需要考虑预测的误差。

通过对停车数据的分析，我们发现大部分停车时间的波动都在5%以内。因此，我们在实时调度中加入了更加保守的时间策略。如图11所示，三种算法的利用率都有所下降。但是SParking的性能仍然优于FCFS和LFS。

7讨论

在本节中，我们首先总结了从实地研究中获得的一些见解和教训。然后我们讨论一些局限性、隐私问题和这项工作的潜在影响。

启示和经验：不同城市的停车场的管理规则可能不同。有些停车场管理严格，不允许外来车辆进入；有些则比较宽松，没有其他限制，或者允许车辆在登记后进入。对于第一类，我们的系统确实无能为力。但对于第二类，我们的系统仍然有效，而且还提供了一种电子登记方法。 交通行为。很明显，交通行为有不同的特点。然而，在我们系统的实际操作中，交通行为最终反映在司机的行为上，这可以从数据集中提取。因此，交通行为不会影响我们系统在不同城市的性能。

在其他城市的实施。我们在武汉市的现实世界数据基础上评估了我们的合同停车管理系统。然而，在不同的城市，特殊的地方条件可能导致不同的停车行为。因此，我们必须从公共汽车运营和交易数据集中重新提取特征，使预测模型适合新的城市。因此，在不同的城市实施合同停车共享是极为重要的。

隐私匿名化。所有分析的数据都由服务提供商进行匿名处理。所有可识别的ID，如用户ID、停车位ID和车牌号都被一个序列标识符所取代，在本项目的分析中不涉及。 聚合。我们的合同停车位共享模型分析的是汇总的结果，并不关注单个停车位提供者或具体用户。因此，学到的模型主要是基于从人群中收集到的信息，不太可能暴露特定个人的敏感信息。

我们的合同停车系统为减少停车位的闲置时间和减轻大城市中寻找停车位的痛苦提供了一个很好的方法。

8相关工作

智慧城市是近几年的热门话题，要实现大规模的时空传感覆盖，并在部署和维护上保持低成本是很困难的[11 , 27-29] 。Chen等人[12]提出了一个车辆人群感应系统，在有限的预算下，有效地激励车辆代理将采样数据的感应分布与期望的目标分布相匹配。由于停车问题对人们日常生活的重要性，已经有相当多的研究对其进行了调查。我们在表1中用一个二维分类法总结了现有的工作：（i）数据与单个停车场或多个停车场有关；（ii）系统提供粗粒度或细粒度的估计。例如，一个简单地将收集到的信息呈现给用户的系统被定义为粗粒度的系统，而细粒度的系统需要从数据中挖掘更多的信息。

对单个停车场的粗粒度研究。这些研究的目的是为了设计一个有效的停车位预订系统。这可以提高个别司机寻找停车位的速度。然而，就整个社会而言，停车位的数量并没有增加，停车难的问题仍然存在。

对单个停车场的精细化研究。针对用户缺乏信息的问题，有很多研究使用物联网设备来检测停车位的可用信息，并向用户提供这些实时数据。然而，使用专用传感器的智能停车系统在安装和维护方面可能存在成本问题。

对多个停车场进行粗粒度的研究。一些智能停车系统为司机推荐目的地。他们设计调度算法来缓解同一停车场的停车压力。 大多数现有的工作都与公共停车场有关。他们中很少有人考虑利用合同停车位，这些停车位基本上是闲置的。因此，在本文中，我们设计了一个共享合同停车位系统，利用合同停车位来解决与停车有关的问题。

9总结

在本文中，我们设计了SParking，一个数据驱动的合同停车位共享系统。基于武汉市真实世界的合约停车位数据集，我们提出了一个停车时间预测算法和一个调度算法。在我们的SParking中，我们首先提供了合同停车位的日期驱动的行为分析。然后，我们提供了一个准确的预测模型来预测合同车位的可用停车时间，充分考虑了节假日和天气的影响。最后，我们提出了一种最优算法来解决停车位调度问题，并证明了其性能。

10致谢

这项工作得到了国家自然科学基金6167219号、江苏省自然科学基金BK20190336号和中国国家重点研发计划2018YFB2100302的部分支持。

译文原文出处：Blancaflor E B, Butalon J M T, Pascual P E S, et al. Parkpal: A park sharing and crowdsource park monitoring mobile application[C]//Proceedings of the 10th International Conference on E-Education, E-Business, E-Management and E-Learning. 2019: 383-388.