(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 113316808 B
(45)授权公告日 2023.06.27

(21)申请号 201980089082.2
(22)申请日 2019.01.14
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113316808 A
(43)申请公布日 2021.08.27
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2021.07.14
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2019/050828 2019.01.14
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2020/147920 EN 2020.07.23
(73)专利权人 华为云计算技术有限公司
地址 550025 贵州省贵阳市贵安新区黔中大道交兴功路华为云数据中心

(72)发明人 拉杜·都铎兰 斯蒂法诺·波托利 克里斯蒂安·阿克塞尼 穆罕默德·啊·哈吉·哈桑 戈兹·布兰切 李海林
(51)Int.Cl.
G08G 1/08(2006.01)
G08G 1/081(2006.01)

(56)对比文件
F.O. Montgomery
A. Bolelli.INTEGRATED TRAFFIC CONTROL ON URBAN ARTERIALS.VEHICLE NAVIGATION & amp
INFORMATION SYSTEMS CONFERENCE.1992,第537-545页.

审查员 吴畅业

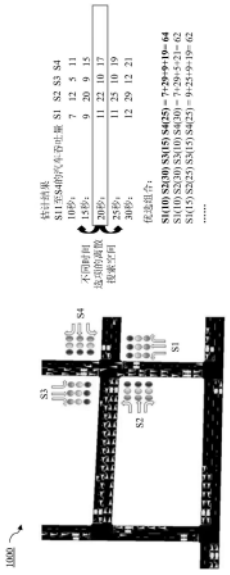
权利要求书2页 说明书24页 附图13页

(54)发明名称

通过交通状态的时空扩展搜索空间控制交通信号

(57)摘要

本发明涉及一种通过交通信号对一个或多个交叉路口的车辆进行交通控制的装置和方法。每个交叉路口可以有多条车道,一条车道可以包括交通信号和交通信号配时,以限定车道的状态。对于第一交叉路口的多个状态中的每个状态,获取交通数据。所述交通数据可以包括与所述第一交叉路口相邻的交叉路口的车道的交通数据。所述获取到的交通数据用于预测每个状态的交通信号的多个预定义配时的交通数据。在所述预定义配时中,通过优化所有车道的预测交通数据的预定义函数,为每条车道确定交通信号配时。然后,所述交通信号配时用于控制一条或多条车道的交通信号。



CN 113316808 B

1.一种在第一交叉路口进行交通信号控制的装置,所述第一交叉路口包括多条车道和所述多条车道中的每条车道的交通信号,其特征在于,所述装置包括:

处理电路,用于:

获取多个状态中的一个状态的交通数据,其中,所述多个状态包括所述第一交叉路口的多条车道的状态以及在空间上与所述第一交叉路口相邻的第二交叉路口的多条车道的状态,所述状态为属于所述第一交叉路口以及所述第二交叉路口的一条或多条车道和所述一条或多条车道的交通信号的相同交通信号配时的组合;

根据所述获取到的交通数据,预测所述多个状态中的每个状态的交通数据;

通过优化所述预测交通数据的预定义函数,为所述多个状态中的每个状态确定多个预定义交通信号配时中的第一交通信号配时;

根据所述确定的第一交通信号配时,控制所述多条车道中的每条车道的第一交通信号;

所述处理电路包括:交通预测器610、交通优化器620和预测器更新器630,

所述预测器更新器630接收获取到的交通数据和/或所述交通预测器610输出的预测交通数据和/或与相邻交叉路口的车道的数据对应的其它交通数据作为输入,所述预测器更新器630输出更新后的模型参数,并将这些参数作为输入提供给所述交通预测器610,在所述交通预测器610中,更新后的参数用于模型中,以预测下一个循环的交通数据。

2.根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述交通数据以交通度量为依据,所述交通度量为车道上车辆的数量、车道上车辆的平均速度、车道的车辆占用率、车道的车队长度和/或车道上车辆的平均等待时间中的至少一个。

3.根据权利要求2所述的装置,其特征在于,所述处理电路还用于根据约束条件优化所述交通数据,其中,所述约束条件包括所述交通信号配时的最大循环时间、每条车道的最小绿灯时间和黄灯时间中的至少一个。

4.根据权利要求3所述的装置,其特征在于,所述约束条件是预定义的或者是根据所述交通度量选择的。

5.根据权利要求1至4中任一项所述的装置,其特征在于,所述交通数据还根据历史交通数据来获取,所述处理电路用于:

从在获取所述交通数据的时间点之前的多个时间点获取到的所述历史交通数据中获取交通数据。

6.根据权利要求1至4中任一项所述的装置,其特征在于,所述交通数据根据所述状态的参数预测模型来预测,所述处理电路用于:

根据以下内容更新所述预测模型的参数:

所述获取到的交通数据;

所述预测交通数据;和/或

所述空间相邻的第二交叉路口。

7.根据权利要求6所述的装置,其特征在于,所述处理电路还用于根据从所述多个状态中选择的第二状态,更新第一状态的预测模型的参数。

8.根据权利要求7所述的装置,其特征在于,所述第二状态是根据选择策略选择的,所述选择策略是指交通数据已经获取到的状态、交通数据已经预测到的状态和/或交通数据

已经通过转换不同状态的交通度量获得的状态。

通过交通状态的时空扩展搜索空间控制交通信号

技术领域

[0001] 本发明涉及使用优化交通信号顺序进行交通控制。

背景技术

[0002] 交通拥堵正在成为大多数国家城市和大都市区的主要问题。人们已经查明造成交通拥堵的各种因素，例如，道路条件恶劣、交通流量控制效率低下、道路上的车辆增加，甚至道路使用者有时存在不文明行为。随着人口和交通量的增加，交通拥堵对城市基础设施提出了严峻的挑战，同时由于等待交通浪费时间还影响人们的社会经济生活。统计数据显示，2014年美国的年平均交通拥堵成本为每位汽车通勤者1433美元，或者说，对于非常大的城区，每个城市的交通拥堵成本超过50亿美元。

[0003] 一般而言，交通包括城市、农村地区或(州际)高速公路的街道/道路上的汽车、面包车、摩托车等车辆的流量，所有这些都产生参与车辆的总流量。此外，一条道路上的交通可能会直接或间接受到其它相邻道路上的交通的影响，也可能取决于特定的交通时间，例如，早高峰或晚高峰。因此，交通已经通过交通流量抽象化，交通流量是由交通各方的驾驶行为产生的一个复杂的空间和时间过程。交通流量可以具有各种特征，例如，交通量、平均车速和车速分布、时间车距和行驶时间等。这些不同交通流量特征之间关系的形式数学描述称为“交通流量”模型。

[0004] 虽然为了解决这一问题，已经开发了各种根据交通流量模型优化交通的技术方案，但没有一种技术方案在概括和适应新情况的能力、交通预测精度、快速反应时间(交通数据实时处理)和系统复杂度方面表现很好。

发明内容

[0005] 本发明实施例由独立权利要求的特征定义，而这些实施例的其它有利实现方式由从属权利要求的特征定义。

[0006] 具体地，本发明涉及交通控制系统领域，增强以通过利用实时引擎来优化交通，所述实时引擎应用统计机器学习进行大数据分布式流处理。交通度量作为交通数据流接收，所述交通数据流为从各种来源(例如，汽车、传感器、交通灯摄像头、街道感应传感器等)按时间顺序采集的事件顺序(即包括以车辆数量、车速等交通度量为依据的各种数据的元组)。流处理范式涉及将业务分析或更复杂的学习函数应用于流中的事件，例如，预测道路上随时间推移的交通流量。典型的流处理方法假设给定时间内在一些边界内累积此类事件，并将业务分析函数应用于采集到的事件。

[0007] 根据本发明的一方面，提供了一种在第一交叉路口进行交通信号控制的装置，所述第一交叉路口包括多条车道和所述多条车道中的每条车道的交通信号。所述装置包括处理电路，用于：获取多个状态中的一个状态的交通数据，其中，所述状态为属于所述第一交叉路口的一条或多条车道和所述一条或多条车道的交通信号的相同交通信号配时的组合；根据所述获取到的交通数据，预测所述多个状态中的每个状态的交通数据；通过优化所述

预测交通数据的预定义函数，为所述多个状态中的每个状态确定多个预定义交通信号配时中的第一交通信号配时；根据所述确定的第一交通信号配时，控制所述多条车道中的每条车道的第一交通信号。

[0008] 使用状态描述(状态空间方法)，状态包括一条或多条车道和所述一条或多条车道的相同交通信号定时，提供了以下优点：减少了进行交通流量预测和优化而必须管理的状态。因此，以这种方式执行的状态简化最终减少了要存储和/或需要保持可用的数据量，以便实时执行交通流量优化。同时，由于获取交通数据的状态减少，因此硬件(例如，用于存储数据)成本可以得到降低。因此，由于数据是根据减小的状态空间获取的，所以可以更快地执行交通流量预测。

[0009] 根据一个实施例，所述交通数据以交通度量为依据，所述交通度量为车道上车辆的数量、车道上车辆的平均速度、车道的车辆占用率、车道的车队长度和/或车道上车辆的平均等待时间中的至少一个。

[0010] 这表示本发明的方法能够单独和/或以组合的方式处理各种不同的度量。这提供了以下优点：交通预测可以通过根据所述交叉路口的具体环境选择一个或多个最合适的度量(单独或与其它度量组合)来调整。

[0011] 根据本发明的另一方面，所述装置的所述处理电路还用于根据约束条件优化所述交通数据，其中，所述约束条件包括所述交通信号配时的最大循环时间、每条车道的最小绿灯时间、黄灯时间、右转始终是绿灯的约束条件等中的一个或多个。

[0012] 根据一个示例，所述约束条件是预定义的或者是根据所述交通度量选择的。

[0013] 因此，本发明的方法实现约束优化，从而考虑时间约束条件等。这进一步限制了状态的搜索空间，具有优化所述交通流量的配时。这可能会进一步加快交通预测，因为在低维度状态空间中找到了最佳技术方案。

[0014] 根据本发明的一个实施例，所述多个状态包括在空间上与所述第一交叉路口相邻的第二交叉路口的多条车道的状态。

[0015] 例如，所述获取一个状态的交通数据包括所述第二交叉路口的所述多条车道中的一条车道的一个状态的交通数据。

[0016] 虽然预测交叉路口的车道的交通流量可以视为本地操作，但本地交通通常会受到其它相邻交叉路口的交通流量的影响。这也可能取决于交叉路口和交叉路口所在区域之间的相互距离。因此，考虑空间相邻交叉路口的状态提供了以下优点：考虑到不同空间长度尺度上的空间相关性，因为这是交通流量行为(例如，交通工具(车辆等)的合作行为)固有的。这进一步提高了交通预测的精度，包括交叉路口可能存在的不同环境。

[0017] 根据本发明的一方面，所述交通数据还根据历史交通数据来获取，所述处理电路用于：从在获取所述交通数据的时间点之前的多个时间点获取到的所述历史交通数据中获取交通数据。

[0018] 交通数据不仅固有地承载空间相关性，而且还承载时间相关性。这表示，为了预测交通流量(即进入时间未来)，可以利用预测时间之前的交通演变。因此，使用历史交通数据可以考虑过去的交通特征，这些交通特征在白天和晚上、高峰时间等可能会有所不同。此外，过去的时间行为也可能取决于交叉路口的位置。因此，历史交通数据能够通过包括时间相关性来进一步提高交通预测的精度。

[0019] 总之，本发明的方法能够通过利用交通数据的时空相关性，高精度地预测交叉路口的交通流量。这可能包括不同空间和时间长度尺度上的相关性(即交通数据在空间和时间上的非马尔可夫(non-Markovian)特征的程度)。

[0020] 根据本发明的另一方面，所述交通数据根据所述状态的参数预测模型来预测，所述处理电路用于：根据所述获取到的交通数据、所述预测交通数据和/或所述空间相邻的第二交叉路口更新所述预测模型的参数：

[0021] 通过交通度量表示车辆(载人和/或无人/自动)的“行为”的交通流量数据本质上是动态的，这使得交通预测有困难。在交通预测中还考虑了一部分动态交通特征，方式为获取当前/最近时间用于预测的交通数据和/或与当前较少获取的数据(根据历史交通的过去数据)结合使用的交通数据。

[0022] 通过使用本身是动态的交通流量的预测器模型，交通数据的固有动态性质可以在该方法中进一步扩展。这表示模型本身是适应性的，即更新一个或多个模型参数。根据获取到的交通数据(即最近)、预测交通数据和/或空间上相邻的一个或多个交叉路口更新参数，预测器模型及其表示参数永久更新。换句话说，模型本身是最新的并调整到交通流量的当前时空动态。

[0023] 因此，交通预测是以高精度执行的，因为预测器参数是参考最新交通数据定制的。此外，由于本发明的方法以预测器的适应性为基础，交通流量预测系统可以容易匹配和调整到许多不同的交通环境，包括交叉路口密度高或低和/或道路具有不同数量多车道的城市和地区。

[0024] 例如，所述装置的所述处理电路还用于根据从所述多个状态中选择的第二状态，更新第一状态的预测模型的参数。

[0025] 根据本发明的一方面，所述第二状态是根据选择策略选择的，所述选择策略是指交通数据已经获取到的状态、交通数据已经预测到的状态和/或交通数据已经通过转换不同状态的交通度量获得的状态。

[0026] 上述适应性可以通过根据其它(即第二)状态更新参数来微调。另外，通过执行依赖于一些策略等的选择，状态的选择可以多样化，包括交通数据已经获取和/或预测到的状态。选择甚至可以基于转换不同状态的交通度量。换句话说，不同状态的不同交通度量可以相互链接。因此，这种基于状态的参数更新方法进一步提高了交通流量预测器系统的灵活性。

[0027] 根据本发明的一方面，提供了一种在第一交叉路口进行交通信号控制的方法，所述第一交叉路口包括多条车道和所述多条车道中的每条车道的交通信号。所述方法包括以下步骤：获取多个状态中的一个状态的交通数据，其中，所述状态为属于所述第一交叉路口的一条或多条车道和所述一条或多条车道的交通信号的组合，所述一条或多条车道具有多个预定义交通信号配时中的一个相同交通信号配时；根据所述获取到的交通数据，预测所述多个状态中的每个状态的交通数据；通过优化所述预测交通数据的预定义函数，为所述多个状态中的每个状态确定所述多个预定义交通信号配时中的第一交通信号配时；根据所述确定的第一交通信号配时，控制所述多条车道中的每条车道的第一交通信号。

[0028] 根据本发明的一方面，提供了一种用于存储程序的计算机可读非瞬时性介质。所述计算机可读非瞬时性介质包括指令；所述指令在处理器上执行时，使得所述处理器执行

所述方法的步骤。

[0029] 因此，本发明引入了一种新的实时处理系统，以采集交通度量，在搜索状态中对交通度量进行建模，对未来交通流量进行预测，并从搜索状态中选择信号控制顺序以增强道路交通流量。因此，交通优化是通过交通度量(例如，汽车数量、车速、交通灯占用率等)的输入流连续实时地进行的。因此，所考虑的场景非常适合这种连续实时的学习和适应性(即，相对于最近更新的最后一个输入事件的时间基准，具有非常低的延迟)。此外，在交通流量预测和控制中，控制单元必须估计和适应流数据分布的变化并提供准确的预测和明智的控制动作(即交通灯绿灯配时)，尽管输入数据进行了单次传递。随着数据流随交通演变而变化，计算在系统中处理的时间跨度有限，从而确保有限度的资源分配和执行时间。

[0030] 本发明通过新的专用流交通控制计算单元解决了资源贪婪、计算昂贵和复杂的最新方法(例如，基于复杂分析流模型的微分方程和数值方法、经验方法、神经网络)，该计算单元利用描述交通状况的不同交通度量之间的空间和时间相关性。控制单元输出可以应用于交通灯，以最大化交通流量。所提出的单元可以处理任何交通度量，该交通度量会输出下一个交通灯循环要使用的时间配置。所述系统由灵活的仪器设备支持，从而确保以低延迟、高输入事件率和固定资源预算进行更新。此外，所述系统可以部署到任何类型的交叉路口，不需要预先训练，这在降低部署成本方面提供了主要优势。

[0031] 以下附图和说明书详细阐述了一个或多个实施例。其它特征、目的和优点在说明书、附图和权利要求书中是显而易见的。

附图说明

[0032] 下面结合附图和图式对本发明实施例进行详细描述。在附图中：

[0033] 图1是包括四条车道的示例性交叉路口，这些车道的交通灯配时相同以控制交通流量。

[0034] 图2是包括四条车道的示例性交叉路口，这些车道的交通灯配时不同以控制交通流量。

[0035] 图3是窗口聚合器内存的草图，在连续交通数据获取过程中耗尽内存空间。

[0036] 图4示出了使用为四车道交叉路口获取到的交通数据，这些数据作为输入提供给执行交通流量预测的神经网络，以及网络输出层的交通灯配时。

[0037] 图5是一个实施例的示意图，其中数据在有限大小的窗口内获取并用于实时执行交通灯预测和控制。

[0038] 图6是一个实施例的框图，包括交通预测器、交通优化器和预测器更新器。获取一个状态的交通数据，并在约束条件下通过功能优化预测新数据。预测器模型是适应性的，其参数根据获取和/或预测到的数据进行更新，这些数据包括相邻交叉路口的状态的数据。

[0039] 图7为根据一个实施例的在线交通控制器的架构的概述。

[0040] 图8是交通灯优化的功能架构，包括属于同一交叉路口的不同状态的两个预测模型，从而交换模型参数。

[0041] 图9为交通灯优化问题的图示，包括多条车道减少到少量状态(状态简化)。

[0042] 图10为交通灯优化问题的图示，包括选择配时可能变化的状态，以便优化由于交通度量而产生的交通流量。

[0043] 图11为交通灯优化问题的图示，包括预测器模型的更新，以执行下一时间步长的交通预测。

[0044] 图12为根据一个实施例的用于一个交叉路口的在线交通控制系统的概述。

[0045] 图13为根据一个实施例的用于包括多个相邻交叉路口的示例性城市的在线交通控制系统的概述。

[0046] 图14为本发明的交通控制系统与使用机器学习(例如，神经网络)的系统进行比较的标杆分析。

[0047] 在下文中，相同附图标记表示相同特征或至少在功能上等效的特征。

具体实施方式

[0048] 以下描述中，参考组成本发明一部分并以说明的方式示出本发明实施例的具体方面或可以使用本发明实施例的具体方面的附图。应当理解，本发明实施例可以用于其它方面中，并且可以包括附图中未描绘的结构变化或逻辑变化。因此，以下详细描述不应以限制性的意义来理解，且本发明的范围由所附权利要求书界定。

[0049] 例如，应当理解，与描述方法有关的公开内容可以对用于执行所述方法的对应设备或系统也同样适用，反之亦然。例如，如果描述一个或多个具体方法步骤，则对应的设备可以包括一个或多个单元(例如，功能单元)来执行所描述的一个或多个方法步骤(例如，一个单元执行一个或多个步骤，或多个单元分别执行多个步骤中的一个或多个)，即使附图中未明确描述或示出这样的一个或多个单元。另一方面，例如，如果根据一个或多个单元(例如，功能单元)来描述具体装置，则对应的方法可以包括一个步骤来执行一个或多个单元的功能(例如，一个步骤执行一个或多个单元的功能，或多个步骤分别执行多个单元中的一个或多个单元的功能)，即使附图中未明确描述或示出这样的一个或多个步骤。此外，应当理解，除非另外明确说明，本文中描述的各种示例性实施例和/或方面的特征可以相互组合。

[0050] 本发明描述了一种控制单元，其可以应用于交通灯等交通信号，以最大化交通流量。需要说明的是，最大化交通流量只是实际上可以执行的成本优化的一个例子。例如，优化可以包括最小化一些交通参数，例如，行驶时间，这基本上对应于最大化交通流量。可以应用其它成本函数，而且可以执行函数的优化(最小化或最大化)。

[0051] 控制单元可以处理其实时采集(即，以数据流的形式)的任何交通度量(成本函数)，并根据交通度量输出下一个交通灯循环要使用的时间配置(例如，交叉路口所有交通灯中的红灯/绿灯/黄灯的时间顺序)。从下面的论述中可以明显看出，本发明方法的独特和新颖特征包括在不产生任何预训练成本的情况下适应任何交叉路口的能力、为交通优化搜索对任何约束条件进行建模的能力、根据任何度量实时对交通进行建模的能力以及利用交通流量的空间和时间特征提供在线交通控制的能力。

[0052] 在大多数情况下，实时交通预测和控制以优化引擎为基础。这样使得系统可以自动适应任何交叉路口，从而创建一组搜索状态，每个状态都有针对每个交通灯和每个考虑的配时搜索域的交通预测器。每个本地预测器都是根据具体策略实时更新的(例如，根据流数据适应的时域，根据通过部署预先设置的选定时隙的更新)。最后，根据预测器的输出，考虑到配置好的约束条件(例如，交通灯的最大循环时间)，选择交通信号/交通灯配时的组合。

[0053] 交通优化的问题多年来一直是一项挑战，由于道路上的汽车增加和街道上的拥堵加剧而导致重大经济损失和城市重污染，其影响每年都在增加。到目前为止，人们研究了许多关于如何对交通进行建模以便可以根据交通模式优化交通拥堵的方法。由于交通一贯非常灵活，行为变化迅速，特别是在道路上发生事件(例如，车辆与车辆碰撞或车辆与行人碰撞，禁止第二排车辆停车或泊车等)时，大多数所采用的模型和提出的技术方案虽然非常复杂，但都失败了。此外，城市中的每个交叉路口通常都会有不同的布局和/或流量，这可能会极大地限制了具体技术方案的部署。正因为如此，大多数优化交通和控制交通灯时间以减少交通拥堵或增加流量的技术方案都不能正常实现。

[0054] 本发明解决这一问题的方法是解决导致过去失败的关键问题，而不是试图学习过去模式，目的是根据当前环境预测交通，从而不断地适应最新演变，并基于此在空间中搜索潜在交通时间，以得到最大化预测的那个交通时间。考虑到过去的交通配置选择，关于交通实际如何变化的控制和反馈以及对未来搜索的影响都封装在部署在边缘(例如，交通控制器)上的在线工作的系统中。

[0055] 具体而言，为了确保精确预测交通流量并以低延迟正确发出新的交通灯配时，需要一个即使在高频下运行也能够处理大规模场景(例如，像北京这样的城市，在2011年，每平方公里有多达43个交叉路口www.beijingcitylab.com)的流运营商来预测交通数据。为了满足这些标准，开发了一个专用机制，以计算和资源高效的方式执行以下任务：(1)根据用户配置和交叉路口布局适应性生成搜索状态；(2)根据搜索状态对输入度量进行建模；(3)利用空间和时间数据生成交通流量时间序列的估计和预测结果；(4)实时搜索参数和预测器模型更新；最后，(5)生成最佳交通灯配时顺序。本发明满足这一要求，如下面论述中详细介绍。

[0056] 此外，交叉路口的流量或交通流量也可能受到相邻交叉路口布局的影响，这种布局称为拓扑、拓扑图或空间拓扑图。而且，交叉路口车道的交通流量可能还会受到发生交通的日期、时间和持续时间的影响。换句话说，交叉路口的交通流量可以在空间和/或时间上与其它相邻交叉路口的交通相关。

[0057] 控制交叉路口车辆交通的一种方法是通过交通信号，这些交通信号控制交叉路口的每个交通灯等。这表示不仅控制交通灯的类型(例如，绿灯和红灯，以及黄灯/橙色灯)，而且还控制红灯或绿灯阶段的相应时间(即持续时间)。

[0058] 在许多交通控制系统中，交通灯是根据固定的时间分配进行控制的。这表示在一个交通灯循环的过程中，每个交通灯分配有一个固定的预定义时间段(即持续时间)。图1的示例说明了这一点，其中，交叉路口包括四个交通灯，每个交通灯都有三个灯：红灯、绿灯和黄灯。这些灯可以单独或通过组合激活(即照亮)，如通过对应的交通信号控制一样。具体地，对于图1所示的交通灯循环红→红-黄→绿→黄(和循环周期)，交通灯的每个阶段具有固定的相等时间，即交通灯(或灯组合)激活的持续时间相同。这种预定义的交通灯配时与交叉路口或交叉路口的每条车道的交通量(例如，车辆数量)无关。因此，这种固定交通灯配时方法可能会导致操作效率低，因为过往车辆的吞吐量低，并且大部分时间都花在交通拥堵中。主要缺点在于，没有考虑交通如何在一个交叉路口110演变，也没有考虑交通如何在交叉路口110附近的其它交叉路口演变。换句话说，为了控制交叉路口110的交通，不考虑环境中交通的动态变化。

[0059] 图2示出了本发明的一个示例性实施例，其中，一个交叉路口设置有各种传感器(例如，摄像机、计数控制器、速度控制器等)，交通信号顺序可以根据各种传感器进行调整。换句话说，每个交通信号的配时可以根据交叉路口的动态变化环境而改变。在图2的示例中，配时可以为5秒红灯、3秒红黄灯、7秒绿灯和4秒黄灯(循环的)。

[0060] 根据一些标准，例如，模型、规则和/或策略，使用不同的方法来选择交通灯。尽管许多交通流量模型本质上是复杂的，但它们主要依赖于交通流量或表示交通的数据可以根据时间序列描述这一假设。术语“时间序列”是指可以按时间顺序进行索引的一系列数据点。数据顺序，即数据点，可以在时间上间隔相等或不相等的时间点处确定。数据(这里是交通数据)可以是测量或计算到的数据。一般而言，测量/计算到的数据在时间上是连续的，只考虑某些离散时间点的数据就成为时间序列。例如，连续交通数据可以是由位于高速公路或交叉路口上的一个或多个传感器(例如，摄像机)测量到的数据，这些传感器提供关于汽车数量、瞬时车速等的数据。换句话说，(交通)数据以类似流的方式连续生成。这使得时间序列成为对交通流量数据进行建模的合适工具，交通流量数据即交通数据流及其一般的时间演变。

[0061] 输入流数据的实时(On-The-Fly)数据处理通过流处理引擎执行。这些引擎是迄今为止针对交通优化而开发的方法的一种可选方案，这些方法的目的是离线对交通进行预建模。交通数据通常被称为事件，表示不同数据的配对，这可能具有不同的逻辑含义。例如，数据可以是表示交叉路口的四条相邻道路上的车道占用率的n元组。这种数据在系统中按一定的时间顺序生成和接收。可以包括预测和控制的处理的逻辑通常由具体的触发函数处理。在交通的情况下，触发函数可以是新事件的到来，例如车道上汽车的当前数量。

[0062] 实时处理连续流数据(不一定只是交通流量数据)产生的问题是无限的。因此，与现有技术方法一样，试图存储数据在所需资源(例如，内存存储)或响应时间方面是难以解决的，响应时间即计算结果以预测交通流量所需的时间。反应性。此外，用于表示流交通数据的交通流量模型考虑了空间和时间的演变，这可能发生在空间和时间的多个长度尺度上。换句话说，用于预测和控制交通的交通流量建模固有地影响多个尺度。最后，由于数据流随时间演变，交通模型(例如，学习模型)需要适应数据流的不同变化(即概念漂移)，以保持高预测精度。这也将影响控制输出的质量，例如，在预测可靠性方面。一种不能适应最新交通状况的模型，即使在几分钟内，也可能使流量模型的预测结果过时。此外，随着数据量及时增加，所需的资源预算也会增加，以至于计算成本过高。因此，由于交通预测和控制的执行速度可能赶不上交通数据变化的时间尺度特征，所以与实时处理相关的要求可能变得更加不可行。因此，对于不同数据实时到达的交通控制应用，必须高效处理这些数据，以根据配时信号确定时间配置等，以便控制下一个交通灯循环。

[0063] 从流引擎的角度来看，一个主要问题在于，现有技术没有提供通用技术方案来实现计算和适应过程，通常用于时空预测和控制中，事件窗口上的延迟非常低。这意味着在大的观测时间窗口内能够(有时同时)计算一系列函数(例如，估计、参数搜索、模型更新、顺序生成)，同时仍保持配时和资源约束条件。另外，现有技术不支持根据多个维度(例如，可以映射到不同交通灯和配时的搜索状态)对输入事件进行建模。

[0064] 图3示出了本发明解决的问题之一。时间序列预测和控制(即，估计、参数搜索、模型更新、顺序生成)必须在事件窗口上重新计算，这些事件窗口随着新的交通度量被读取而

滑动(即,事件窗口与数据流一起处理并在给定范围内的连续实例之间共享事件,这是因为交通行为是高度动态变化的,通常只有最近的交通度量才是相关的)。与这个问题相关的是时空建模和输入输出映射(即,将交通流量估计值转换为交通灯配时)。如下详述,本发明的方法使用一种高效的时空模型进行预测,并使用快速顺序生成产生输出,这避免了由于资源和计算成本随着要聚合的元素的数量线性增长而导致性能下降,如时间T4所示。

[0065] 在流数据的时间序列建模中,预测稍后时间的数据。在对每个搜索空间(对于每个交通灯和考虑的每个离散时域)的交通进行建模的预测器的一种实现选项中,可以考虑在一些给定边界内对流事件进行建模(例如,对当前时间之前的汽车数量进行2小时观察)。这些时间窗口的内容随着新事件的到来而及时变化,旧事件从窗口的边界中消失并被删除。这表示在这样的观察窗口内,用于预测的数据将永久更新。这些更新需要立即反映在函数结果中,以保证正确性。这表示时间序列交通度量的精确预测,例如,汽车数量,对于一个或多个控制信号(例如,交通灯配时)的后续计算至关重要。

[0066] 用于时间序列预测的典型统计和机器学习模型,包括自回归移动平均族(即,AR、MA、ARMA或ARIMA)、贝叶斯推理(Bayesian Inference)、回归树(Regression Tree)、神经网络只能对一维时间序列进行建模和预测。在这类预测器模型中,基本上假定数据中的相关性可以被参数充分捕获,这些参数在时间上是全局固定的。此外,它们在本质上不能扩展到多变量预测,使得它们不适用于数据之间的相关性是动态(时间)和异质(空间)的情况。这在公路交通数据中很普遍。

[0067] 自20世纪80年代以来,已经开发了各种交通建模和控制方法,例如,宏观/微观模型、过滤模型、神经网络和其它组合模型。图3示出了神经网络(neural network,NN)用于包括四条道路S1至S4的交叉路口410的交通流量预测的情况,每条道路都有多条车道和多个交通灯。在一定时间,道路交通是这样的:关于道路S1至S4,两辆汽车在S1上,六辆汽车在S2上,四辆汽车在S3上,三辆汽车在S4上。根据交通度量“道路Si上汽车的数量”表示交通的4元组[2,6,4,3]作为输入数据提供给神经网络420,神经网络420提供S1至S4的一系列交通灯配时。具体地,在图3的示例中,对应于绿灯阶段(即,允许车辆行驶)的交通灯的配时分别为10秒、30秒、25秒和15秒。

[0068] 神经网络作为机器学习ML模型的子类,需要在进行任何预测之前先进行训练。训练本身依赖于过去数据(这里是过去交通数据),这些数据的量通常相当大,以反映许多交通状况。然后,根据调整多个内部网络层(即隐藏层)之间连接的多个内部权重来训练NN,以便在输出层提供最佳输出。术语“最佳”是指某一成本和/或罚函数得到优化。因此,一旦网络经过训练,就会利用“过去经验”来预测世界的新状态何时被输入到网络中。在图4中,这种数据输入被提供给网络420的输入层。

[0069] 从神经网络的这种功能范式或其它利用此类学习的方法中可以明显看出,一旦训练完成,输入数据到输出数据的映射关系就固定了,因为网络的权重在训练阶段之后保持不变。这通常被称为离线交通模型。术语“离线”在这里是指根据过去交通数据调整交通模型本身(即模型参数)。因此,相对于其参数的相应模型是静态模型,其中,参数不适应流交通数据固有的时空行为。另一个一般问题是,NN或ML模型需要使用交通数据分别针对每个交叉路口进行训练,交通数据可能反映特定交叉路口的所有交通状况特征。

[0070] 可选地,可以使用流引擎来监控交通。这种方法可以适用于一些类型的建模函数,

但需要在窗口状态(对应于预定义持续时间的时间窗口)上重新计算,以维护每个输入事件的交通流量观测结果的快照。这显然会影响在扩展到高频流(例如,北京高峰期的交通状况)和长/大时间窗口(例如,每平方公里20多个交叉路口)时的实时约束条件和资源利用率。

[0071] 这项研究还处于理论阶段,由于各种原因,经常受到现实部署的影响。例如,由于预测精度低、对数据要求严格、缺乏表现力、对模型内部工作机制(例如,神经网络的内部结构等)的理解和/或预测的时间成本难以忍受。所有这些模型在实践中失败的关键原因是没有充分利用交通网络的独特信息,即交通网络的空间拓扑结构(即通过多条道路“网络边缘”连接的多个交叉路口“网络结点”)等动态因素和车辆的内在时间流动,以及它们的相关性。

[0072] 没有任何机制、流运营商或技术方案能够实现同时组合以下内容的交通预测和交通控制:(1)通过高效的建模和参数搜索实现固定的资源利用率,(2)利用空间和时间相关的观测结果进行预测和控制,(3)以非常低的延迟运行,(4)适应任何交叉路口布局。

[0073] 这些问题通过本发明得到解决。作为一种特殊的实现优化,以实现快速和精确的流量预测和交通信号/交通灯的控制输出,本发明描述了一种基于连接道路之间的空间和时间相关性的在线学习和更新的新颖方法。这使得系统能够互连多个此类部署的系统并应用更新,从而考虑系统部署位置之间的真实空间维度。交通流量预测和控制需要访问这些空间和时间信息,以便做出明智的决策。本发明的方法通过三个主要方面利用这些信息。

[0074] 首先,采用了一种新的机制,通过对与交通度量(例如,每条车道汽车的数量)对应的时间序列进行增量建模,从而实现在线预测。这种机制被扩展到也适用于跨多个维度(例如,空间)演变的时间序列,因此具有能够对多维度时间序列进行建模并提供在线预测的流计算和控制单元。其次,该方法支持模型更新,不仅基于要建模的时间序列的感官观察结果(即道路上的交通度量的输入流),而且还基于使用加权方案的空间相邻时间序列(即相邻道路的相同度量)。因此,本发明提供了一种能够支持基于可配置空间相邻时间序列的多感官融合并与其它部署共享流单元的预测和本地交通模型的流机制。第三,本发明提供了一种能够根据选定的交通度量最大化输出的流机制。该系统能够根据搜索空间的探索概况(即交通灯循环的持续时间)对待控制和优化的过程布局(即要控制的交叉路口中的道路数量)进行自配置。

[0075] 在这种背景下,底层计算被优化为进行增量构建,从而更新预先计算的状态(即有状态处理)。高效的资源利用率和增量更新使得技术方案能够进行预测和控制,同时更新预测器(使用空间和时间信息)。另外,该方法将缓存数据限制为增量更新中可能涉及的事件,从而保持内存使用率恒定。因此,本发明能够根据输入流或具有亚秒级延迟的流的子域的观察到的交通度量提供对交通灯(或交通信号)的明智控制。因此,本发明提供了一种解决复杂问题的技术方案,即低延迟、资源和计算高效的实时交通预测和控制,而不会产生部署成本来适应新的布局(例如,较大城市的城市地图等)。

[0076] 作为一个本质上复杂的过程,道路交通流量可以使用时空模型进行建模以得到预测结果。在这些模型中,假设交通数据的形式为空间分布的时间序列,描述了全局现象的局部变化。通常,指定在一台机器(即,交叉路口的交通灯的边缘控制设备)上运行待应用的窗口和处理函数,该机器用于运行流处理引擎。基于窗口运算符的典型默认流实现方式会将

所有事件{ev1,ev2,…,evN}保持在存储器中,在每个触发时刻,所有元素都被(重新)处理以计算窗口函数,如图5所示。在这里,测量到的交通流量是指每条车道S1至S4过往的汽车的数量,系统预测未来流量和交通灯的控制配时,以最大化流量(优化目标)。一般而言,事件可以是任何获取到的数据。例如,事件可以是给定时刻或时间间隔的图像或图像集合,捕获交叉路口或其一部分(一条或多条车道或道路)等。然而,事件也可以是或者是一些处理过的信息,例如,每条车道汽车的数量或在一定时间间隔内每条车道或每条街道汽车的数量(量)组成的数组。例如,对于特定状态,事件可以是汽车数量,这些汽车从每条车道经过交叉路口(交叉路口)。

[0077] 对于大型观测时间窗口,在时空预测和控制中发现的计算等可能需要将大量状态保存在存储器中以及在大型事件窗口上重新计算。这使得难以符合(接近)实时要求。如前所述,对于最新技术方案以及交通度量建模的更简单流实现方式,这是一个主要问题。这使得最新技术方案无法获得适当的技术方案,以便在流处理的情况下通过统计和机器学习实现精确的交通流量预测和控制。

[0078] 根据本发明的一个实施例,提供了一种用于控制交叉路口的交通信号的装置。所述交叉路口可以包括多条车道,每条车道都有交通信号。车道的交通信号有一个持续时间,称为交通信号配时。在一个示例性实施例中,车道还可以配备交通灯。

[0079] 例如,交通信号可以用于控制交通灯。通过这些交通灯,交叉路口的交通流量可以进行优化引导。

[0080] 通过获取多个状态中的一个状态的交通数据,控制交叉路口的交通流量。状态为属于第一交叉路口的一条或多条车道和所述一条或多条车道的交通信号的相同交通信号配时的组合。

[0081] 这表示多条车道可以由状态(即交通模型的状态变量)指定。这样,减少了系统实时执行交通流量预测需要提供的数据量。这称为状态简化。这样可以通过使用减小的状态空间加快基于状态的数据处理。

[0082] 从状态定义中可以明显看出,状态也是根据与交通信号配时相关的配时指定的,所述配时对于作为所述状态一部分的所述一条或多条车道是相同的。这表示所述交通信号配时,例如,所述一条或多条车道的每个交通灯的绿灯阶段,具有相同的时间(即时间段)。在所述相同时间内允许相应车道上的车辆在相同的持续时间内移动。

[0083] 然后,使用所述获取到的交通数据预测所述多个状态中的每个状态的交通数据。

[0084] 根据所述预测交通数据,为所述多个状态中的每个状态确定交通信号的第一配时。通过优化所述预测到的交通数据的预定义函数,从交通信号的多个预定义配时中确定(例如,选择)所述第一配时。

[0085] 通过为所述状态确定的配时,可以根据所述确定的第一交通信号配时控制所述多条车道中的每条车道的交通信号(例如,第一交通信号)。

[0086] 换句话说,确定所述状态的交通信号的配时使得交叉路口交通的配时控制可以得到优化,因为交通信号在为每个状态确定配时的过程中引导所述多条车道中的每条车道上的车流。

[0087] 图6示出了本发明的一个示例性实施例,用于控制交通信号,包括交通预测器610、交通优化器620和预测器更新630。在输入端将交通数据和状态集合$\{S\}^{(n)}$提供给交通预测

器610。可以在时间点t_n提供输入数据，索引“(n)”是指离散时间点。所述时间点t_n可以是预定义时间点或任意时间点。

[0088] 根据本发明的一个实施例，术语“交通数据”以交通度量为依据。其中，交通度量对应于适合根据一个或多个量表征交通流量的量，所述一个或多个量可以使用交通流量模型来测量或计算到。要作为交通度量的合适量是，例如，车道上车辆的数量、车道上一辆或多辆汽车的平均速度、车道上的车辆占用率、车道的车队长度和/或车辆平均等待时间。

[0089] 交通度量通常相对于完整交通信号/交通灯循环间隔内的总体测量结果。例如，在度量为“车道上车辆的数量”的情况下，该数量是指在整个交通信号循环内通过每条车道的交叉路口(例如，第一交叉路口)的汽车的数量。术语“交通信号循环”也称为信号循环或简单地称为循环，可以互换使用。

[0090] 交通循环是指一个典型时间，其中属于交叉路口(例如，第一交叉路口)的多个交通灯的一系列交通信号或交通灯信号在它们各自的交通灯/信号灯配内显示。换句话说，完整的交通循环间隔表示绿灯按顺序应用于所有状态一次的循环。例如，在图9中，完整的交通循环间隔会对应于状态s1、s2、s3的循环，表示在每个状态下依次为相应的车道提供绿灯。在每个状态都轮到之后，该循环结束。

[0091] 相对于所述循环的这种度量的另一个示例是在交通灯循环间隔内车道上的车辆通过交叉路口的平均速度。因此，根据度量对交通数据的定量测量是通过计数、求和和/或其它类型的统计平均等方式聚合这种数据的结果。这对交通信号/交通灯系统管理的每个状态执行。例如，假设针对管制车道，交通灯分配了20秒的绿灯时间，则该交通灯的交通度量针对所考虑车道的任何度量进行20秒的测量。

[0092] 分配给一个或多个交通灯的绿灯时间也可以称为阶段、绿灯阶段等。这表示在绿灯阶段或绿灯时间内，可以理解，所述交通灯为绿灯的一条或多条车道上的车辆允许在该车道上行驶或移动。因此，一个或多个车辆的运动最后产生交通流量，从而产生与流量相关联的流交通数据。

[0093] 一般而言，与交通信号相关的阶段可以包括红灯、绿灯和/或黄灯/橙色灯。红灯和/或黄灯/橙色灯阶段还可以用于交通流量模型中，用于控制交通信号或交通灯配时。每个阶段的配时可以相同或不同。一般而言，对于不同的交通循环，阶段的配时可能不同。换句话说，对于一个循环中的任何配时，配时可以根据交通数据进行调整。

[0094] 这些是不同类型的可能交通度量。另外或可选地，交通度量可以是特定类型，其中度量是指相应度量的量和/或幅度。例如，在特定的度量类型为“每条车道汽车的数量”的情况下，度量由汽车的数量提供。度量也可以是指属于交叉路口的所有车道的汽车数量。

[0095] 度量可选地或另外可以是量和/或幅度的变化。这表示在两个以上不同的时间点测量或计算交通度量，以确定交通度量的实际变化。

[0096] 如前所述，对于包括一个或多个连接交叉路口的车道上的车辆在内的交通相关问题的建模，流量(即交通数据流)以时间序列适当地描述。这表示流模型用于预测未来时间的交通流量/度量。未来时间可以包括比前一个时间点t_n晚的一个时间点t_{n+1}，或者可以包括N个时间点$\{t_{n+1},\cdots,t_{n+N}\}$，其中，N>1晚于$t_n$。

[0097] 在本发明的一个示例性实施例中，属于多个状态$\{S\}^{(n)}$(即状态集)的一个状态包括交叉路口的一条或多条车道，例如，作为车道标签或索引“L_i”，其中，i＝1，…N是指车道

的索引i,N表示交叉路口的车道的总数。这样,状态可以指定一条或多条车道,这些车道被合并为单个状态。这称为状态简化。这样能够减少优化交通度量而需要保持可用的数据量。由于状态简化,基础设施的成本可能会降低,因为需要更少的存储空间。此外,使用减小的状态空间进行交通流量控制能够更快地处理数据,包括交通数据获取和后续优化。

[0098] 该状态还包括车道的交通信号配时。该配时可以属于多个信号配时,例如,{10秒,15秒,20秒,25秒,30秒}。如下文进一步详述,多个配时定义了用于优化交通流量的搜索空间的一部分。配时的值可以是等距的,也可以是不等距的。在上面的示例中,配时是预先确定的。可选地,可以参考数据获取的时间点t_n和/或根据交通数据来调整配时。

[0099] 术语“配时”是指信号的持续时间。在交通信号控制交通灯的示例性情况下,配时对应于一个或多个交通灯,例如{红灯,绿灯,黄灯/橙色灯}激活(即打开)的时间段。可选地,交通信号的配时持续时间或配时长度可以由特定的调制和/或编码方案等间接表示。例如,配时信号长度可以通过脉冲宽度调制方案(pulse-width-modulation scheme,PWM)等实现。

[0100] 对于多个状态$\{S\}^{(n)}$中的一个状态$S_j^{(n)}$,获取交通数据。获取数据可以包括最近和/或当前时间点t_n的交通数据。

[0101] 根据本发明的一个实施例,获取交通数据可以另外或可选地包括“旧”交通数据,是指在比当前时间点t_n早的一个或多个时间点t_k(即$t_k<t_n$)获取的交通数据。换句话说,交通数据可以使用历史交通数据来获取。

[0102] 以获取到的交通数据和状态$\{S\}^{(n)}$作为输入,交通预测器610在稍后的时间点$t_{n+1}>t_n$预测每个状态的交通数据,至少采用最新的交通数据。这也是指交通流量的在线预测。在这里,预测是通过根据最新和/或过去的交通数据通过时间序列模型计算数据来执行的。对多个状态中的每个状态执行预测。回想到,一个状态还包括多个信号配时中的一个信号配时。

[0103] 可选地或另外,交通数据可以针对多个状态中的一个或多个状态获取。

[0104] 然后,交通优化器620通过优化预测到的交通数据,为多个状态中的每个状态确定交通信号配时。这意味着,表示交叉路口的所有车道的交通量的交通度量使用度量的预定义函数进行优化。例如,如果度量为“每条车道的经过汽车的数量”(参考一个循环),则优化是指最大化该数量。另一方面,如果度量是“车道上汽车的等待时间”,则优化是指最小化等待时间。根据度量或交通数据,交通优化确定预定义的多个信号配时中的一个配时。例如,预定义函数可以是依赖于度量的函数。例如,如果获取每次经过交叉路口和/或通过车道的汽车数量,则函数可以是汽车的总和。该函数对应于优化(最大化)的成本函数,如上所述。例如,经过交叉路口的汽车之和被最大化。另一个函数可以是平均值或其它统计数据或获取到的数据的任何函数。

[0105] 因此,交通流量的预测和优化利用(减小的)搜索空间,该搜索空间中有多个状态{S},每个状态都是根据一条或多条车道$[L^1,L^2,\cdots]$和状态j的相同配时T_j指定。形式上,这种状态可以写成$S_j=\{[L_j^1,L_j^2,\cdots],T_j\}$。需要说明的是,在多条车道的情况下,多条不同的车道携带相同的下标“j”,以指示它们与公共状态j关联。此外,如前所述,属于同一状态的车道具有对应交通信号的相同配时Tj。以这种方式定义的状态,其中多条车道被简化到单个状态,减少了系统要管理的数据,从而加快了多维时空交通流量数据的处理。

[0106] 针对相应配时T_j的多个状态中的每个状态进行交通数据的预测。例如，假设有N条车道和M个配时，则状态所跨越的搜索空间因此具有N×M的维度。搜索空间的条目是使用交通预测器的流模型预测到的交通数据。

[0107] 根据本发明，每个状态S_j具有其自己的预测器模型。例如，如果配时为{10,15,20}秒，则对于预测交通数据的每个配时，使用单独的预测器模型。

[0108] 可选地，多个状态{S}中的一组状态可以使用相同的预测器。

[0109] 一旦为车道的每个状态确定了交通信号配时，该配时就用于控制该车道的交通信号。根据本发明，根据确定的配时控制信号表示控制信号具有与信号的时间宽度对应的时间长度，该时间宽度与配时成线性比例。例如，假设2秒配时的信号宽度为2秒，则4秒配时的信号宽度为4秒。

[0110] 可选地，信号宽度可以是配时的线性比，其中，信号宽度随着配时缩放。配时和信号之间的这些类型的映射关系可以称为脉宽调制(pulse-width modulation，PWM)。可选地，信号宽度可以根据单调函数与配时相关，单调函数不一定是线性的，以执行从信号配时到信号本身的映射。可选地，确定的配时可以映射到信号高度。这对应于与配时对应的交通信号的幅度的调制。

[0111] 在本发明的一个示例性实施例中，交通信号是对应于交通灯的信号。或者，确定的信号配时是交通信号灯配时。换句话说，交通灯用于控制车道上的交通流量，方式是当允许载人车辆行驶或应该停止时，通过交通灯(例如，红灯、绿灯、黄灯/橙色灯及其组合)发出视觉信号。

[0112] 另外或可选地，车辆可以根据车道的信号配时，例如，通过使用无线连接的道路与车辆通信，接收行驶或停止信号。根据接收到的信号，可以通过声学信号(例如，指示绿灯或红灯阶段的声学语音指令或不同类型的声学信号)通知驾驶员。根据绿灯或红灯阶段执行车辆控制的驾驶员指令也可以通过与交叉路口进行无线通信的手机、智能手机等指示。一般而言，可以使用任何形式的道路与车辆通信来根据交通信号配时发送交通信号。因此，甚至可以执行涉及自动驾驶汽车(载人或无人)或自动和非自动驾驶汽车组合的交通流量。

[0113] 根据本发明的一个实施例，根据包括交通信号的最大循环时间的约束条件优化交通数据。但是，本发明并不限于这种约束条件。相反，可以使用其它可选或附加约束条件，例如，每条车道的最小绿灯时间(对应于绿灯可配置的最小时间段)、黄灯时间(对应于黄灯激活的时间段)或右转始终是绿灯的约束条件(有些交叉路口始终允许右转。在这些情况下，有一个交通标志或绿灯始终亮的交通灯)。

[0114] 在时间约束条件的一个例子中，当使用8位编码配时的时候，则完整循环的总持续时间通常限制为255秒，其中2位数字仅用于绿灯时间的倒计时。因此，车道的每个方向的绿灯不能超过99秒。

[0115] 术语“交通灯循环”是指交通规划的完整执行，其中为每个车道方向/组定义的所有状态都被执行。例如，假设一个4叉口路口。一个可能的计划是按顺时针顺序为每个方向指定绿灯时间，从北、东、南、西方向开始。这是一个完整循环或简单地一个循环。当然，交通灯计划的阶段可能更复杂，而且超出了交叉路口的方向的数量。

[0116] 通过将最大循环时间作为优化的一部分，定义搜索空间的多个配时所允许的配时受到限制。换句话说，信号配时不能超过最大循环时间。因此，跨越的搜索空间的大小得到

减小。这能够快速搜索每条车道的信号配时，从而使用预定义函数快速优化交通数据。

[0117] 根据本发明的一个实施例，所述约束条件是预定义的或者是参考交通度量选择的。这表示当优化交通数据时，执行任何优化可能需要预定义约束条件，而不考虑所使用的度量(硬约束)。反过来，根据交通度量选择约束条件允许调整优化(软约束，即选定)。由于交通数据优化是使用预定义函数执行的，因此选择可能更适合于待优化功能的约束条件的可能性可以灵活地进一步调整交通优化器520的优化性能(例如，在收敛速度方面，以找到函数最优值等)。

[0118] 例如，可以根据约束条件来决定，这样不希望为一个方向(预定义的限制)分配超过99秒的绿灯，或者不希望方向之间的平均差值超过20％，其中时间是根据采集的交通度量定义的。

[0119] 在图6所示的本发明示例性实施例中，交通约束条件可以提供给交通优化器620。另外或可选地，交通优化器620可以提供有多个约束条件。这些约束条件可以是预定义的和/或是根据相同的交通度量或不同的度量选择的。换句话说，交通数据的优化可以是多约束优化。这样可以确定车道的信号配时，该车道同时满足基于多个约束条件的最佳交通流量的要求。

[0120] 根据本发明的一个实施例，多个状态(即状态集$\{S\}^{(n)}$)包括属于第二交叉路口的车道的状态，所述第二交叉路口在空间上与第一交叉路口相邻。这表示第一交叉路口和第二交叉路口之间存在一定的空间距离。这个距离可以根据包括两个交叉路口的空间地图等确定。

[0121] 根据本发明的一个实施例，获取一个状态的交通数据包括属于所述第二交叉路口的多条车道中的一条车道的状态的交通数据。由于第一交叉路口和第二交叉路口在空间上是分开的，所以第一交叉路口和第二交叉路口是不同的。

[0122] 因此，车道的状态的交通数据的预测和后续优化考虑了属于不同交叉路口的车道的状态的交通数据流之间的空间相关性。这是因为一个状态的交通数据的预测使用所获取到的交通数据，该交通数据通常可以包括所有状态(即所有交叉路口的状态)的数据。

[0123] 如前所述，获取数据包括实际交通数据，但也包括基于历史交通数据的过去交通数据。因此，本发明的方法还考虑了属于不同交叉路口的车道的状态的交通数据流之间的时间相关性。

[0124] 这样一来，车道的状态的交通数据的预测和优化通常同时考虑所有交叉路口的所有车道状态之间的交通数据流的空间和时间相关性。这些时空相关性包括空间和/或时间上的小规模和/或大规模，取决于属于相邻交叉路口的状态的远程范围和/或历史交通数据的时间长度。因此，根据时空相关性的强度(即其符号和/或绝对值)，考虑到交通数据流固有的合作效应，并最终影响单车道的交通数据的未来演变，即预测和优化数据。

[0125] 根据本发明的一个实施例，所述交通数据根据参数预测模型来预测。所述预测模型的参数可以根据所述获取到的交通数据来更新。所述参数还可以根据所述预测交通数据和/或根据所述交叉路口的空间相邻交叉路口来更新。

[0126] 使用预测交通数据可以在丢失交通数据的情况下更新预测器模型的参数。例如，可能发生的是，状态的数据获取终止并提供损坏数据等，这可能发生在摄像机电源故障的情况下，假设摄像机根据交通度量为一条或多个条车道提供数据。在这种情况下，认为所述

预测交通数据是参数/模型更新的真实数据。此外，官方统计只适用于先前选定的模型。

[0127] 因此，用于预测车道的交通数据的模型是动态预测模型，其参数可以进行调整(适应性预测器模型)。换句话说，预测器本身是适应性的，并且是本发明方法的不可分割部分。模型的参数更新反过来以与交叉路口(即第一交叉路口)相关的交通数据为依据和/或使用其它相距远的交叉路口(即一个或多个空间相邻交叉路口)的车道的其它交通数据。

[0128] 在本发明的一个示例性实施例中，预测器模型的更新可以包括多个参数，并且可以取决于用于执行预测的具体模型的复杂度。

[0129] 预测器的一个或多个参数的这种更新或刷新确保预测器的参数表示继续随着多个状态的当前交通数据(即所述获取到的交通数据)更新。

[0130] 如前所述，所述获取到的数据也可以包括先前获取到的数据，以便参数更新也考虑交通数据的历史影响。另外，参数可以根据最新的交通数据(即所述预测交通数据)来更新。

[0131] 此外，参照其它交叉路口的空间相邻交叉路口的参数刷新还可以将交通数据的空间信息包括到预测模型的参数表示(即参数)中。

[0132] 这样一来，本发明的预测器模型本身的参数更新能够在模型参数中也考虑时空(spatial-temporal，ST)效果(即ST相关性)，其结果是预测器通过参数的适应性在本质上是动态的。模型的这种在线更新方式允许预测和优化交通数据，从而以高精度确定车道的交通信号配时。这不仅是因为用于预测的数据是最新的，而且还因为预测器模型本身是永久更新的。

[0133] 这与使用机器学习(machine learning，ML)模型的预测器形成鲜明对比，例如，图4所示的神经网络，后者依赖于使用“旧”数据的离线预训练，即网络的“旧”训练参数用于预测交通数据。这表示，在基于NN的对流交通数据进行建模的方法中，参数不会保持最新，以考虑交通数据固有的动态和空间变化。这由本发明的参数更新提供。

[0134] 根据本发明的一个实施例，第一状态的预测模型的参数根据从所述多个状态中选择的第二状态来更新。换句话说，参数更新是根据状态执行的，涉及不同的状态。这样可以实现基于状态的微调参数适应性，通过这种适应性，交通数据的预测以进一步提高的精度执行。

[0135] 根据本发明的一个实施例，所述第二状态是根据选择策略选择的。所述策略可以是交通数据已经获取到的状态、交通数据已经预测到的状态和/或交通数据已经通过转换不同状态的交通度量获得的状态。

[0136] 因此，上述选择可以转换为任何选择策略，例如，“交通数据获取到的状态”、“交通数据预测到的状态”和/或“转换后数据的状态”。这些策略可以不限于上文列出的策略。

[0137] 例如，另外或可选地，策略可以与在执行交通流量功能优化时未从多个状态中选择或确定的状态相关。为了说明这一点，假设优化的结果是确定车道1等的状态以及20秒(而不是30秒)的配时。这表示，在该状态经过20秒后，在循环之后接收与状态{车道1，20秒}对应的交通度量。这些交通值将根据策略填充值。

[0138] 该策略可能是：(1)如果未选择状态，则不更新，(2)根据度量已经接收到的状态的值的时间比例值，(3)将一个状态的读取度量转换为与另一个状态对应的值的其它功能，(4)随着预报值(即预测值)更新，和/或(5)任一这些项的组合。例如，如果在过去10分钟内

没有接收到任何值，则进行更新，而且更新是通过选项(2)-(3)-(4)之一完成的。

[0139] 在图6所示的本发明示例性实施例中，参数的更新由预测器更新器630执行。如图所示，更新器630接收获取到的交通数据和/或预测交通数据(即交通预测器610的输出)和/或与相邻交叉路口的车道的数据对应的其它交通数据作为输入。更新器630输出更新后的模型参数，并将这些参数作为输入提供给交通预测器610。在预测器610中，更新后的参数用于模型中，以预测下一个循环的交通数据。

[0140] 在图6的示例性实施例中，预测器610、优化器620和更新器630是单独的单元和/或单独的电路。可选地，单元610、620和630可以组装在一个公共单元和/或同一电路的一部分中。电路可以进一步组装在同一单板或不同单板上，以便实现系统的模块化。

[0141] 根据本发明的一个实施例，提供了一种在第一交叉路口进行交通信号控制的方法，所述第一交叉路口包括多条车道和所述多条车道中的每条车道的交通信号。所述方法包括以下步骤：获取多个状态中的一个状态的交通数据，其中，所述状态为属于所述第一交叉路口的一条或多条车道和所述一条或多条车道的交通信号的组合，所述一条或多条车道具有多个预定义交通信号配时中的一个相同交通信号配时；根据所述获取到的交通数据，预测所述多个状态中的每个状态的交通数据；通过优化所述预测交通数据的预定义函数，为所述多个状态中的每个状态确定所述多个预定义交通信号配时中的第一交通信号配时；根据所述确定的第一交通信号配时，控制所述多条车道中的每条车道的第一交通信号。

[0142] 根据本发明的一个实施例，一种计算机可读非瞬时性介质存储程序。所述计算机可读非瞬时性介质包括指令；所述指令在处理器上执行时，使得所述处理器执行所述交通信号控制方法的步骤。

[0143] 在本发明的一个示例性实施例中，一种处理和控制系统的架构提供根据本发明的实时交通优化的技术方案，如图7所示。从前面的论述中可以明显看出，该方法超越了将预测和控制序列生成视为简单流处理的传统方法。本发明的核心是提供了一种控制单元，其可以应用于交通信号(例如，交通灯)，以最大化交通流量。

[0144] 根据图6所示的本发明示例性实施例，控制单元可以包括交通预测器610、交通优化器620和预测器更新器630。

[0145] 在初始化/配置中，本发明可以适应用户约束条件和交叉路口布局(以及交通信号和/或交通灯的特性)。换句话说，该方法可以考虑由于其它交叉路口的空间位置和连接(即街道/道路网络的布局、拓扑，或城市规划)而产生的交通数据的空间影响。该方法可以处理实时采集的任何交通度量。该交通度量(即根据度量获取到的交通数据)用于通过优化交通数据来生成时间配置(即交通信号/交通灯配时)，这些配时用于下一个交通信号/交通灯循环。

[0146] 鉴于图6和图7，本发明的独特特征可以总结如下：

[0147] 1.该方法是通用的，因为可以适用于任何可用的交通度量(例如，汽车数量、车速、交通灯占用率等)。

[0148] 2.该方法是常见的，因为适用于任何交叉路口布局，不需要任何过去数据或设计，只需提供要控制的交通信号/交通灯的状态的数量(即交叉路口所有街道的交通信号/交通灯的数量)。

[0149] 3.该方法使用在线统计和机器学习技术来优化交通。该方法不需要任何预训练或

部署/配置工作(即降低交通技术方案设置和部署成本的主要优势)。

[0150] 4.在部署时,控制交通信号/交通灯的所有必要的具体配置都由控制单元创建。在此初始配置阶段之后,控制单元将按顺序连续工作:(a)采集交通度量,(b)处理交通度量,(c)输出交通信号/交通灯的配置。

[0151] 下面介绍本发明的基本过程。

[0152] (1)根据初始设置(即交通灯状态的数量和考虑的时域),创建搜索状态集合,每对交通状态和交通域对应一个集合。

[0153] (2)对于每个搜索状态,使用交通建模器(即在线时间序列预测器)。该方法可以支持各种预测算法或方法,只要它们能够根据它们建模的输入提供预测结果。

[0154] (3)对于接收到的每个交通度量,则重复以下处理顺序。通常,可以在每个交通信号/交通灯循环之后,或在几个这样的循环之后,或在某些固定时间接收新的交通度量。

[0155] (a)交通度量值用于更新搜索空间的建模器(即预测器)。多种策略可以用于选择需要更新的建模器(例如,所有建模器,最后选择的一个建模器)。

[0156] (b)查询所有搜索空间的建模器,以对它们建模的交通度量进行预测。

[0157] (c)根据预测结果,从搜索集合中选择每个交通信号/交通灯的时间的组合,以便:(i)优化(例如,最大化)交通的预测结果;(ii)满足交通信号/交通灯循环的时间约束集。

[0158] (d)交通循环时间(即约束条件)可以是预先配置的或者是根据交通度量动态选择的。

[0159] (e)记录选择,并生成每个交通信号/交通灯的对应时间,并用于交通灯等。

[0160] 通过考虑与本发明相关的最具代表性的技术和概念,可以进一步理解这一点:

[0161] A.流处理

[0162] 流引擎(例如,Flink https://flink.apache.org、Spark流、Storm、Samza和数据流)是与本发明相关的主要流技术。流引擎具有实时(移动)处理数据的作用,它们根据流的时间顺序提供计算能力。根据具体引擎,时间可以进一步设置为指代事件时间、处理时间、计算机时间或事件的到达时间。大多数流引擎允许在窗口中对事件进行某种形式的分组。根据流引擎的API,可以灵活地在窗口上定义和驱动计算。

[0163] 这些引擎都没有提供专门的操作支持来处理交通度量、跨多维度对时间序列进行建模或构建在线交通优化支持。

[0164] 从前面的论述中可以明显看出,本发明提供了所有这些能力。

[0165] B.流时间序列预测的统计和机器学习(Machine Learning,ML)

[0166] 形式上,时间序列是等时间间隔内的可观察变量的一系列历史测量结果。研究时间序列的目的有几个,例如,根据过去数据预测未来数据、理解操作背后的现象,或简单地简述该序列的显著特点。长期以来,预测域一直受到统计学习方法的影响。ML方法的目标与统计方法的目标相同,都是为了通过最小化某一损失函数(通常是误差平方和)来提高预测精度。他们的区别在于如何使用ML方法实现这种最小化,利用非线性算法来实现,而统计算法则是线性过程。

[0167] ML方法在计算上比统计方法要求更高,而且有不同的方法,从多层感知器(Multi-Layer Perceptron,MLP)到贝叶斯神经网络(Bayesian Neural Network,BNN)或径向基函数(Radial Basis Function,RBF),以及从分类与回归树(Classification and

Regression Tree,CART)到高斯过程(Gaussian Process,GP)或长短期记忆(Long-Short Term Memory,LSTM)递归网络。虽然模型库如此多样化,但在评估和设配时间序列预测系统时,要考虑的最相关方面是方法的准确性、拟合优度和计算复杂度。

[0168] 对于这种分析,必须考虑模型如何能够:

[0169] (a)处理不确定性(即指定或不指定数据生成过程的概率模型)

[0170] (b)指定结构(即,在指定模型时假设预测器效果的加和性),

[0171] (c)包括经验证据(即允许或不允许在设计时未预先指定的高阶交互作用)。此外,对于交通控制场景,预测系统需要充分利用车辆的拓扑结构和内在时间流及其相关性。

[0172] 为了实施本发明,进一步考虑了一些相关的研究工作,并强调本发明方法与最新方法的不同之处。

[0173] Blandin、Sébastien等人的研究“关于标量宏观交通流量模型的顺序数据同化(On sequential data assimilation for scalar macroscopic traffic flow models)”,Physica D:Nonlinear Phenomena 241.17(2012):1421-1440,考虑了使用标量宏观交通流量模型的最优滤波对交通网络的顺序数据同化问题。对与宏观交通流量模型固有的具体非线性和不可微性有关的真实状态不确定性分布的属性进行了研究、分析推导和分析。

[0174] 与本发明的主要区别在于,没有流部署,没有基于布局的适应性,没有基于离散时间的建模,以及没有跨相邻模型的时空更新。

[0175] 从结合图6的本发明先前论述中可以明显看出,本发明的方法使用交通度量的时间序列之间的空间和时间相关性,以生成用于交通信号/交通灯控制的更准确预测和后续配时顺序生成。

[0176] 如上详述,本发明用于预测的学习模型(即预测器模型):

[0177] (a)利用馈送到系统的交通度量中的固有不确定性,

[0178] (b)仅使用流窗口中的可用数据,因此使用相对有限的样本大小进行训练/学习,

[0179] (c)利用可解释模型中的空间和时间演变,

[0180] (d)可以考虑和排除少量变量的影响(即事件与相邻街道之间的空间和时间距离)。

[0181] 下面提供了更多详细内容以理解本发明的基本操作原理。为简化论述,术语“交通信号”和“交通灯”用作同义词。图8至图12以单个交叉路口为例示出了如何确定交通灯配时。

[0182] 图8示出了本发明的一个示例性实施例,包括两个控制单元810和820,它们共同对交通度量事件的输入数据流进行操作。从功能的角度来看,控制单元810和820关于配时确定的简化状态S1和S4。在本示例中,每个控制单元810和820还可以包括:

[0183] (1)流计算单元,能够对用于在线预测的时间序列(即观测结果流)进行建模:基于从相邻预测器接收到的空间和时间信息的模型更新,

[0184] (2)流控制单元,使用交叉路口的配置(这里是城市地图),为每个交通灯状态和每个要考虑的离散时间维度创建一组预测器,搜索最佳配置同时试图最大化结果,

[0185] (3)流计算单元,能够可选地与类似的计算单元同步,以便根据相邻状态更新预测器模型。

[0186] 参考图9,希望解决优化交通灯的问题,交通灯是交叉路口的一部分。在这里,交叉

路口包括五条街道，共有六条车道L1至L6。还假设完整交通循环包括三个阶段，阶段1至阶段3。核心思想是，根据默认的交通灯循环，对于每个阶段1至3，同时具有绿灯的交通灯被组合并合并为一个状态。其它交通灯相应地配对。通过这种方式，创建了最小数量的状态。这样减少了状态的数量，从而减少了系统要处理的数据量，以便高效实时地进行交通预测。在这里，车道L1和L5被组合为交通灯状态循环S1，如图9右侧所示。至于其它有红灯的车道，它们可以以任何方式配对，因为由于是红灯阶段，这些车道没有交通流量，表示不允许在相应车道L2、L3、L4和L6上移动车辆。对于其它阶段2和3，相应地执行状态简化。这定义了交通灯状态循环的状态S1到S3。通常，每个交通灯控制单元具有用于操作的状态机，本发明的装置使用该状态机。

[0187] 为了确定交通灯配时，本发明使用能够对交通流量进行建模的学习系统，搜索模型的参数空间，更新模型，并生成与交通灯的配时顺序对应的输出。在本示例中，交通数据的交通度量是汽车吞吐量。

[0188] 图10和图11以图形方式描述了配时确定的操作顺序，包括以下步骤：

[0189] 1.从默认顺序开始(例如，每个交通灯依次为20秒绿灯)，

[0190] 2.构建一个离散搜索空间，每个状态对应于相应的时间分配，

[0191] 3.估计每个交通灯的结果，就像为对应的时间秒分配为绿灯一样，

[0192] 4.考虑到约束条件(例如，循环的最大时间量)，选择最大化贪婪结果的组合，

[0193] 5.根据观察结果更新估计器模型，以根据最新观察结果纠正估计结果(例如，根据接收到的后续度量，不同策略可以应用于确定更新哪些预测器以及如何更新。在下面的示例中，策略是仅更新选定的状态。其它策略可以是按比例更新所有状态，根据具体功能更新，在自上次更新以来经过给定时间后更新，等等)。

[0194] 每个交通灯都有一个模型(即预测器)集合，每个状态都有一个要搜索的模型，每个状态都要训练一个维度(即，为绿灯分配的具体时间)。在本示例中，每个交通灯有五个模型，时间为10、15、20、25、30秒。回想到，这定义了由多个状态和多个预定义配时跨越的状态搜索空间。

[0195] 一旦选择了最大化预期结果的配时顺序，此配时就用于交通灯。对实际经过的汽车数量的新观察结果(即新的交通数据获取)可以在流中获得。然后，基于新的交通数据样本更新预测模型(即它们的参数)。如果估计过于乐观，那么观测值较低，会减少未来的估计。反过来，这使得有可能选择其它时间组合。图11示出了这种机制。

[0196] 参考先前描述的示例，本发明的方法可以扩展到任何交叉路口配置和形状，使用交叉路口具有的交通灯状态的数量和可选地使用的时间配置，如默认顺序。这减少了在其它方法(例如神经网络、深度学习和深度强化学习网络)中使用的强先验，并使本发明的方法更加灵活。

[0197] 任何类型的交通度量观察结果(例如，经过的汽车数量、队列长度、等待时间和平均速度等)都可以用于更新预测器，这在其它方法中是不可能的。图12示出了物理设置到本发明实际实例化的映射。

[0198] 在大规模场景中，例如城市，交叉路口上的每个交通灯都会对其连接的街道产生内在影响。换句话说，本地交通流量的演变受到更远的交通的影响。在这种情况下，本发明利用车辆的拓扑结构和内在时间流及其相关性(时空相关性)。每个交叉路口都有一个预测

器模型，相邻街道的信息用于在本地更新模型。

[0199] 图13示出了本发明的一个示例性实施例，包括系统的大规模实例化。在本发明之前实例化的支持下，下面提供了本发明实现方式的更多详细内容。

[0200] 第一方面是指对流数据进行在线预测以实现交通控制。所述系统的最初实现方式考虑了统计机器学习算法，这些算法是通过移植传统模型(例如，自动回归移动平均族：AR、ARMA、ARIMA)以增量方式工作而开发的。这些模型所暗示的模型系数计算使用迭代卡尔曼波进行递归估计，以提高计算性能，避免高成本的优化技术(例如最小二乘法)。其它预测器模型，甚至黑盒算法可以由系统加载。

[0201] 第二方面针对用于预测的流运算符。为了实现增量预测器模型，系统扩展了流运算符的经典架构(例如，过程函数)，以支持在线预测函数的增量计算，这些函数在用户定义的公式库中实现。这允许灵活使用不同的预测器模型。添加了状态，以确保容错和稳定的增量处理。

[0202] 第三相关实现细节是指用于交通控制的适应性流运营商。为了向任何交叉路口布局提供适应性组件，已经构建了自己的流运算符架构以接受输入配置(例如，交通灯状态的数量、离散时间状态的数量)，以便在运算符的初始化阶段为每个这样的组合创建一组预测器(例如，交通灯状态的数量乘以时间状态的数量大小的预测器矩阵)。

[0203] 交通度量的每个观察结果(即交通数据获取)用于实时更新模型预测器。更新可以根据策略驱动(例如，仅更新与所选时间相对应的预测器，基于时间按比例更新所有，基于所有预测器中的某些分布函数更新)。此外，在相邻交通控制单元的每次同步中，其它模型的预测结果用于更新相邻模型的本地副本和对应的权重，这些权重将在更新本地预测模型时使用。这考虑了传感器融合机制。

[0204] 在整体架构中，触发每个预测器以生成预测建模中考虑的交通度量的估计结果以及每个交通灯的所有时间组合的估计结果。从这种组合中，使用动态编程，选择最大化度量的最佳(配时)组合。

[0205] 最后，为了支持时空模型更新，扩展了预测器，在参数更新中考虑由相邻距离和相关性给出的加权机制。然后扩展预测模型(即时间序列模型)的增量公式，以支持相邻模型参数的加权。这允许对每个预测器进行时空更新。这进一步实现传感器融合，以扩展到多个尺度并提高预测的质量和精度。

[0206] 在本申请中提供的若干实施例中，应当理解，所公开的系统、装置和方法可通过其它方式实现。例如，上述装置实施例仅仅是示例性的。例如，单元划分仅仅是一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式。例如，可以将多个单元或组件合并或集成到另一个系统中，或者可以忽略或不执行一些特征。另外，所显示或描述的相互耦合或直接耦合或通信连接可以通过一些接口来实现。装置或单元之间的直接耦合或通信连接可以通过电子、机械或其它形式实现。

[0207] 作为分离部件描述的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元，可以位于一个位置上，或者可以分布在多个网络单元上。可以根据实际需要选择一些或全部单元来实现实施例技术方案的目的。

[0208] 另外，本发明实施例中的功能单元可集成到一个处理单元中，或每个单元可物理上单独存在，或两个或更多单元集成到一个单元中。

[0209] 本发明实施例还可以包括装置,所述装置包括用于执行本文描述的任何方法和/或过程的处理电路。

[0210] 图6所示的预测器610和/或优化器620和/或更新器630的实施例可以实现为硬件、固件、软件或其任意组合。例如,预测器、优化器和/或更新器的功能可以由具有或不具有固件或软件的处理电路执行,例如,处理器、微控制器、数字信号处理器(digital signal processor,DSP)、现场可编程门阵列(field programmable gate array,FPGA)、专用集成电路(application-specific integrated circuit,ASIC)等。

[0211] 预测器610和/或优化器620和/或更新器630的功能可以通过存储在计算机可读介质中的程序指令来实现。所述程序指令在执行时使得处理电路、计算机、处理器等执行交通信号控制方法的步骤。所述计算机可读介质可以是存储程序的任何介质,包括非瞬时性存储介质,例如,蓝光磁盘、DVD、CD、USB(闪存)驱动器、硬磁盘、经由网络可用的服务器存储等。

[0212] 本发明的一个实施例包括或是一种计算机程序,包括用于在计算机上执行时执行本文描述的任一方法的程序代码。

[0213] 本发明的一个实施例包括或是一种计算机可读介质,包括程序代码。所述程序代码在由处理器执行时,使得计算机系统执行本文描述的任一方法。

[0214] 根据一个实施例,一种计算机可读非瞬时性介质存储程序。所述计算机可读非瞬时性介质包括指令;所述指令在处理器上执行时,使得所述处理器执行所述方法的步骤。

[0215] 标杆分析

[0216] 从先前的讨论中可以明显看出,本发明描述了一种新的方法,以根据分析的在线预测结果对交通信号(在一个示例性实现中,这些交通信号与交通灯有关)和城市交通进行基于流的预测和控制,实现了多维度(即空间和时间)的交通时间序列的在线建模、更新和预测能力。系统包括一个流计算单元,它能够对交通度量数据的实时流执行这样的处理,具有毫秒级的延迟。

[0217] 所述系统能够根据类似预测器模型的空间和时间信息在线更新和融合预测模型,包括能够与其它此类单元互连的流计算单元,以同步预测模型。此外,所述系统能够根据交叉路口配置和布局,通过为交通信号状态和要探索的每个时间维度创建不同的预测器,在用于交通信号或交通灯的控制单元的级别上进行自我配置。这样实现了适用于任何类型的交通度量的通用交通优化控制单元。

[0218] 如前所述,在功能上,所述系统能够根据预测结果在线选择交通信号时间(用于控制可能激活和/或驱动交通灯的交通信号),同时在配时选项的可配置范围(即状态的搜索空间)之外最大化选定的交通度量。本发明的架构可以部署在边缘设备上、交通控制器上或中央控制中心(例如,云)中。

[0219] 为了评估本发明的能力,介绍了用例场景。通过这个例子,目的是强调支持被发明的流运营商的能力及其对现实世界交通数据的性能。作为仿真环境,使用城市交通仿真软件(SUMO,版本0.32.0-http://sumo.dlr.de/),并在24G RAM的PC上进行测试。

[0220] 如前所述,为了预评估本发明对业务场景的好处,例如交通流量优化,使用了标准化仿真器,即SUMO,并与本发明的交通信号/交通灯控制的动态方法进行比较,默认选项是在SUMO中使用固定时间分配。回顾本发明的方法,包括交通度量预测和优化以及动态在线

更新能力,确定由于优化而不固定的交通信号配时。

[0221] 由于具有在线预测和控制能力,本发明能够避免交通拥堵,能够结合SUMO默认固定时间分配控制仿真改善整体流量(3至13次,取决于交通度量)。

[0222] 图14示出了使用两种不同交通度量得到的一些初步结果,两种交通度量即每个路线长度的默认平均持续时间(图14左侧)和默认平均持续时间(图14右侧)。交通数据时间序列的流动通过多变量ST-ARMA模型描述。

[0223] 在上述用例场景中,深圳的交通模型由深圳警察局提供。在这种小规模场景中,考虑到8个交通灯系统,控制以下交叉路口:

[0224] -高速公路交叉路口(4个方向,每个方向有5至6条车道)

[0225] -T型交叉路口(3个方向,每个方向有3至4条车道),

[0226] -常规交叉路口(4个方向,每个方向有3至4条车道)。

[0227] 这样存在30条不同的路线,车辆以一定的概率在这些路线上行驶。对于车辆,考虑到16种类型,例如,以不同速度、加速、减速和不同等级的驾驶准则行驶的巴士、面包车、乘客和投递,以及根据某一概率分布将一些类型的车辆从一条路线传送到另一条路线的20条新路线。所提出的仿真还有一些其它建模细节,例如(i)右转始终是绿灯,(ii)仿真可以无限期地运行。

[0228] 除良好的试验结果之外,本发明还为通用和适应性的交通控制系统提供了巨大优势,从图14所示的比较结果中可以明显看出。

[0229] 本发明的方法适用于智慧城市基础设施以及任何交通灯或任何交通信号。由于该方法不需要任何预训练或手动开发来适应新的布局,因此降低了大规模(针对整个城市基础设施、在任何城市中)部署该技术方案的成本。这使得本发明的方法对支持智慧城市交通管理是有价值且可行的。

[0230] 本发明具有多个优点,因为本发明从用于对时间序列预测进行建模的通用方法跨越到基于流的优化和专用预测和控制。

[0231] 本发明的核心贡献和优点是该方法根据分析的在线预测结果和适应性能力对交通流量和城市交通进行基于流的预测和控制。这是因为系统具有根据环境的最新多维视角支持调度控制的实时适应性的能力。这样的系统适应任何类型和形状的交叉路口,适用于任何交通度量或特征,并且可以部署在多个层级(即中央后端、边缘/交通控制器)上。

[0232] 从技术的角度来看,本发明的实施具有高效益,因为本发明依赖于三个高效且新颖的流处理单元:

[0233] • 一种流处理单元能够对多维时间序列进行建模和融合(集成)并根据其相关性结构生成预测结果。

[0234] • 一种流处理单元能够在这些计算单元之间同步预测器模型的状态并根据计算单元的相邻权重更新这些模型。

[0235] • 一种流计算单元能够适应任何类型的交叉路口并在不产生任何配置成本的情况下控制流量。

[0236] • 一种流计算单元能够在考虑约束条件的情况下优化调度。

[0237] 总体而言,本发明提供了一种用于时间序列建模的通用方法,其能够在任何度量上操作。因此,在交通优化的情况下,系统可以基于各种现有类型的交通传感器。此外,使用

快速流处理基础设施，本发明提供了用于多个时间序列的低延迟预测(即毫秒级)和融合，以及调度策略的低延迟选择，以最大化待优化的可配置度量。

[0238] 综上所述，本发明涉及一种通过交通信号对一个或多个交叉路口的车辆进行交通控制的装置和方法。每个交叉路口可以有多条车道，一条车道可以包括交通信号和交通信号配时，以限定车道的状态。对于第一交叉路口的多个状态中的每个状态，获取交通数据。所述交通数据可以包括与所述第一交叉路口相邻的交叉路口的车道的交通数据。所述获取到的交通数据用于预测每个状态的交通信号的多个预定义配时的交通数据。在所述预定义配时中，通过优化所有车道的预测交通数据的预定义函数，为每条车道确定交通信号配时。然后，所述交通信号配时用于控制一条或多条车道的交通信号。

[0239] 附图标记列表

[0240] 图1

[0241] 100 示例性场景

[0242] 110 交叉路口

[0243] 120 交通灯顺序相同的配时

[0244] 图2

[0245] 200 示例性场景

[0246] 210 交叉路口

[0247] 220 交通灯顺序不同的配时

[0248] 230 多车道摄像头

[0249] 240 车道摄像头

[0250] 250 车辆总数

[0251] 260 交叉路口摄像头

[0252] 图3

[0253] 300 有限大小窗口中的数据聚合

[0254] 图4

[0255] 400 基于ML的交通预测的示例

[0256] 410 四车道交叉路口

[0257] 420 神经网络

[0258] 图5

[0259] 500 数据获取和预测的示例性实施例

[0260] 图6

[0261] 600 交通流量优化器的示意图

[0262] 610 交通预测器

[0263] 620 交通优化器

[0264] 630 预测器更新器

[0265] 图7

[0266] 700 在线交通控制器架构

[0267] 图8

[0268] 800 交通灯优化的功能架构

[0269] 810 预测器模型1

[0270] 820 预测器模型2

[0271] 图9

[0272] 900 状态简化

[0273] 图10

[0274] 1000 状态选择

[0275] 图11

[0276] 1100 预测器更新

[0277] 图12

[0278] 1200 一个交叉路口的在线交通控制系统

[0279] 图13

[0280] 1300 样本城市的在线交通控制系统

[0281] 图14

[0282] 1400 交通流量控制系统的标杆分析

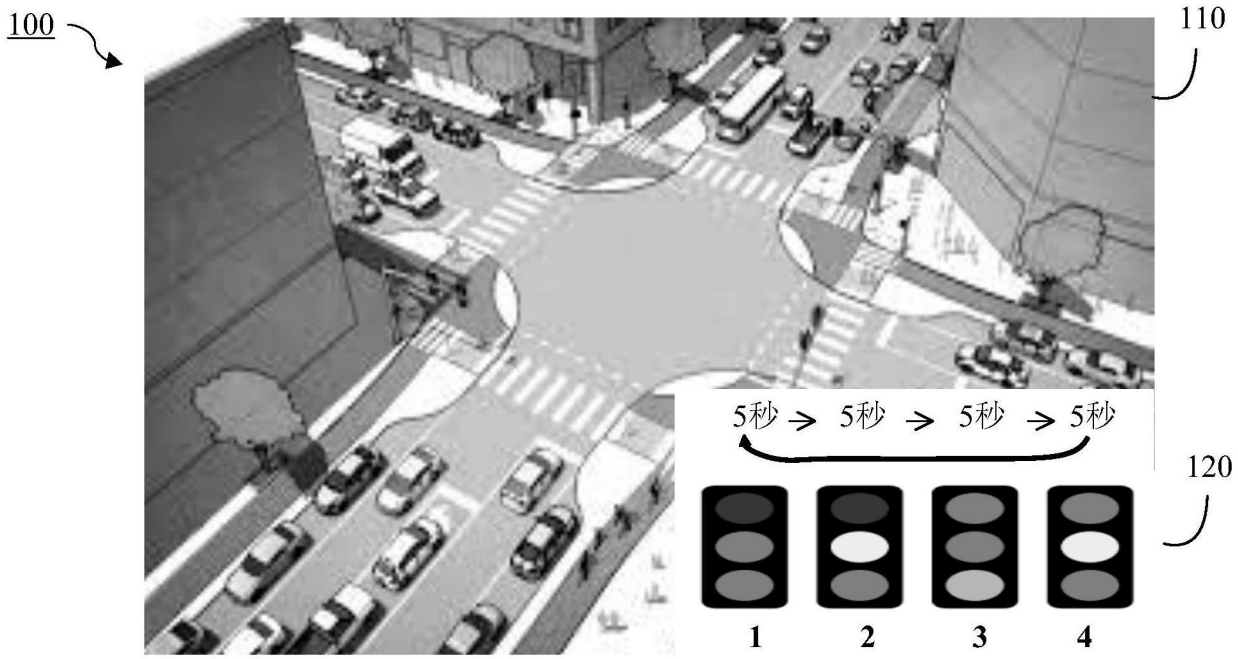

100
110
5秒 → 5秒 → 5秒 → 5秒
120
1
2
3
4

图1

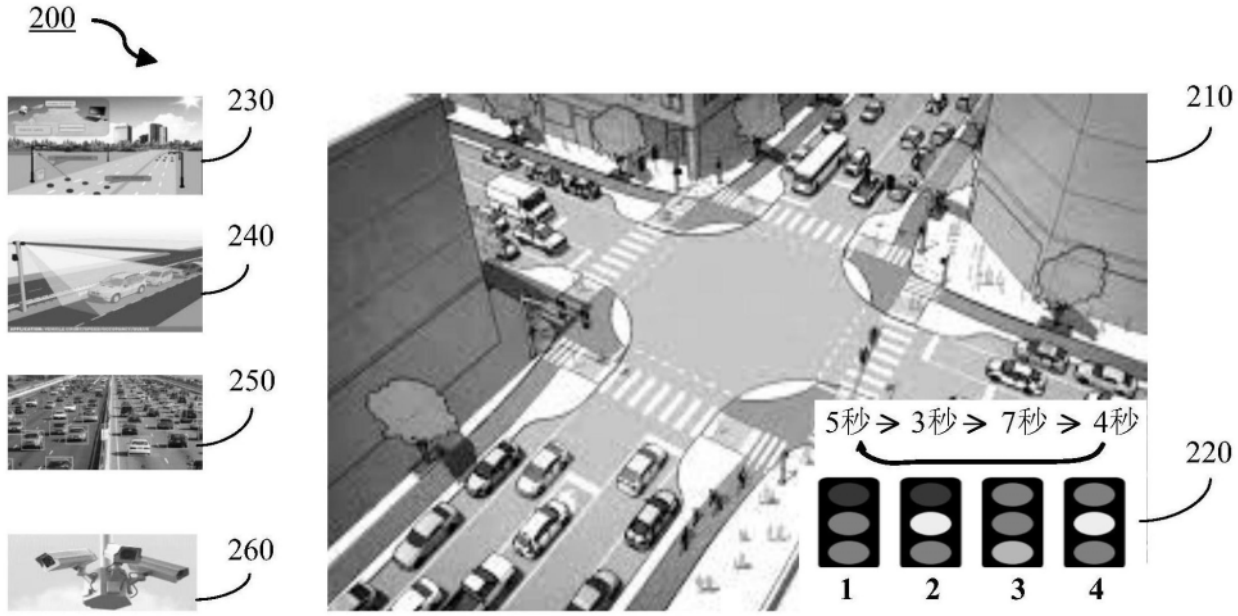

200
230
240
250
260
210
5秒 → 3秒 → 7秒 → 4秒
220
1
2
3
4

图2

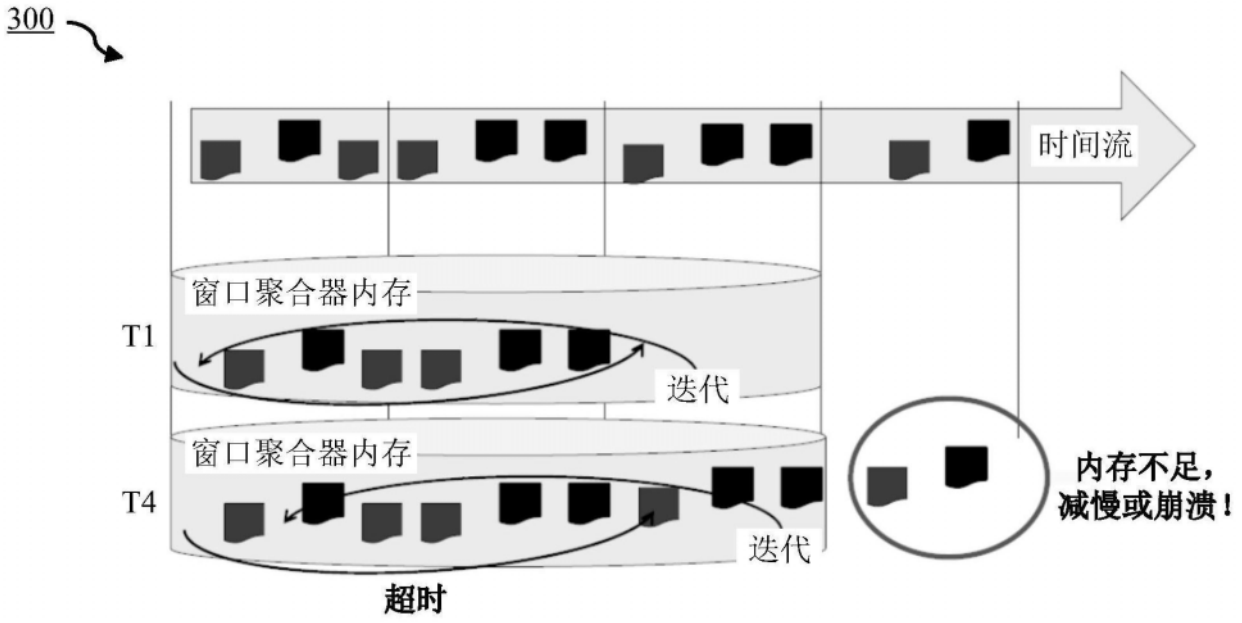


图3

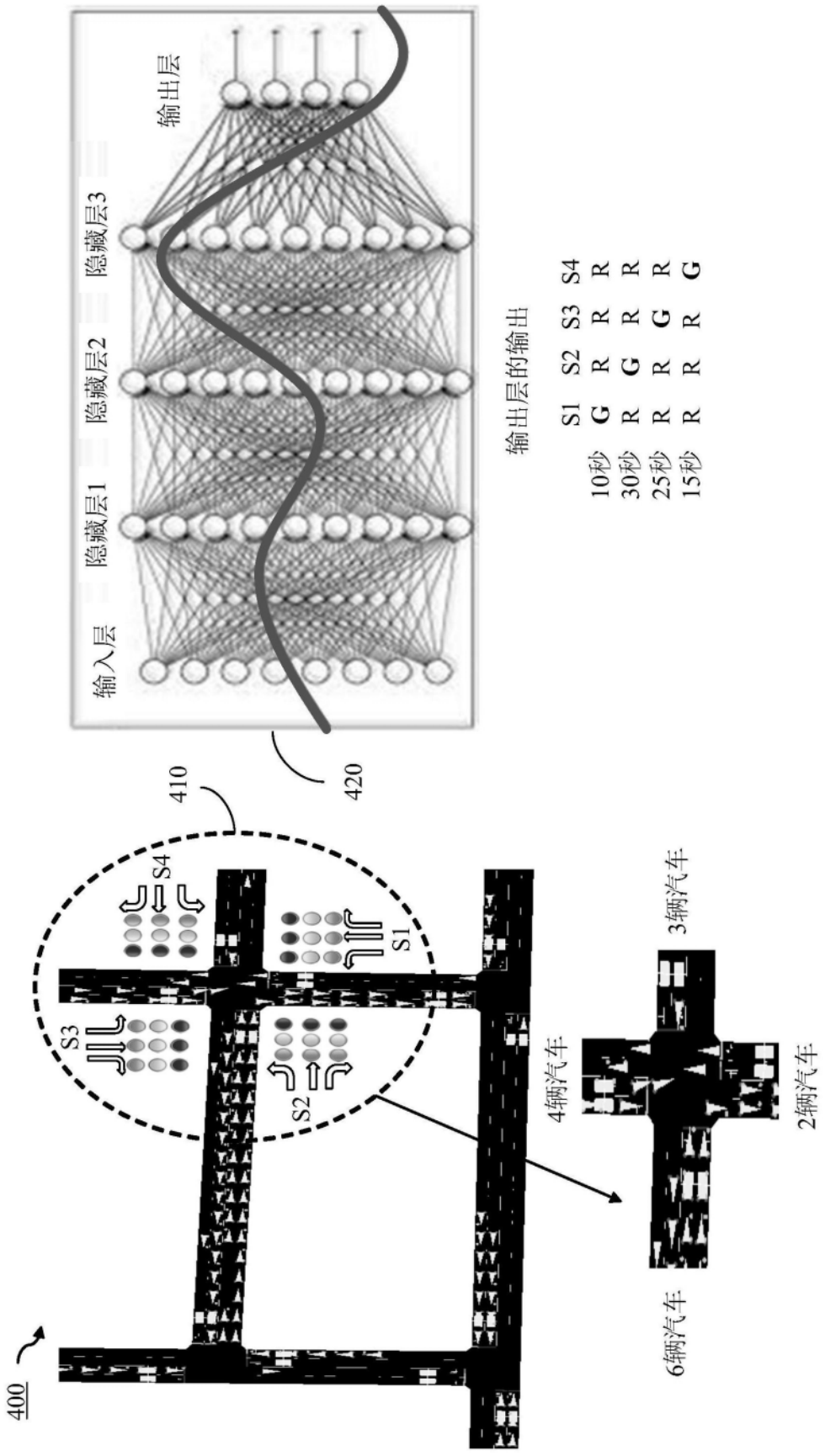

输入层
隐藏层1
隐藏层2
隐藏层3
输出层
输出层的输出
S1 S2 S3 S4
10秒 G R R R
30秒 R G R R
25秒 R R G R
15秒 R R R G
410
420
400
S1
S2
S3
S4
4辆汽车
3辆汽车
6辆汽车
2辆汽车

图4

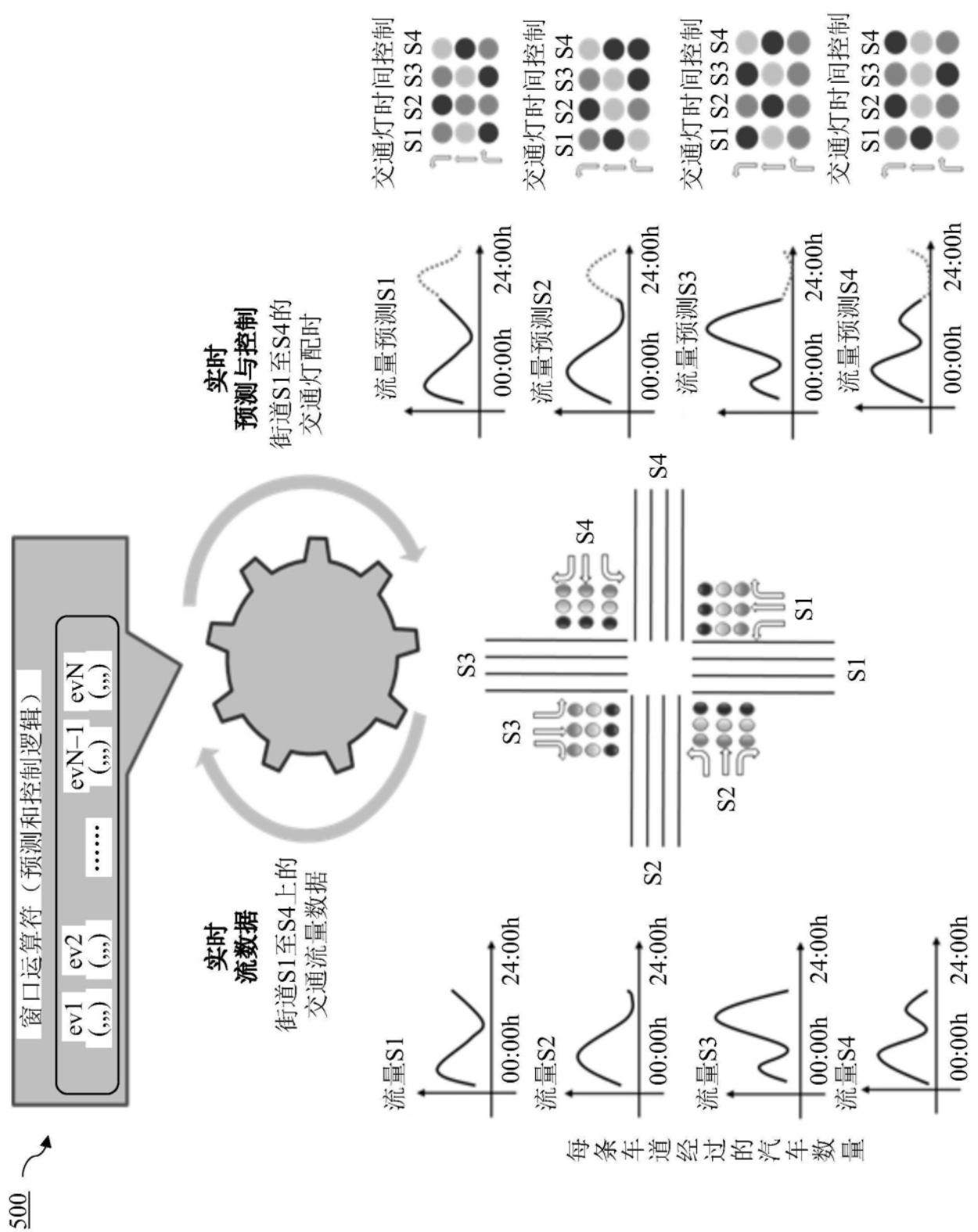

500
窗口运算符（预测和控制逻辑）
ev1 (,,,)
ev2 (,,,)
……
evN−1 (,,,)
evN (,,,)
实时
流数据
街道S1至S4上的
交通流量数据
实时
预测与控制
街道S1至S4的
交通灯配时
流量S1
流量S2
流量S3
流量S4
00:00h
24:00h
每条车道经过的汽车数量
流量预测S1
流量预测S2
流量预测S3
流量预测S4
交通灯时间控制
S1 S2 S3 S4
S1
S2
S3
S4

图5

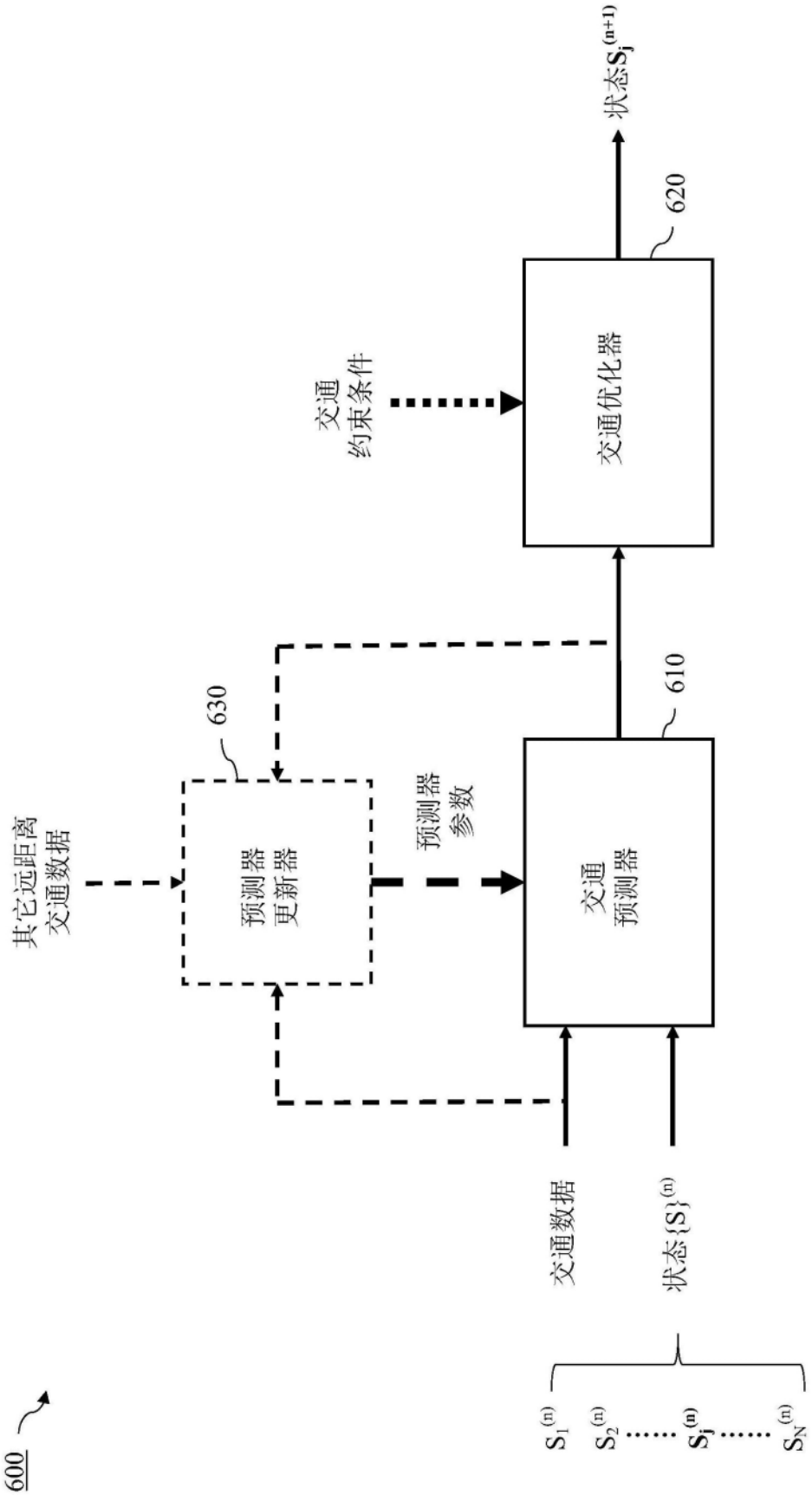

600
其它远距离
交通数据
预测器
更新器
630
预测器
参数
交通
预测器
610
交通
约束条件
交通优化器
620
状态$S_j^{(n+1)}$
交通数据
状态$\{S\}^{(n)}$
$S_1^{(n)}$ $S_2^{(n)}$ ..... $S_j^{(n)}$ ..... $S_N^{(n)}$

图6

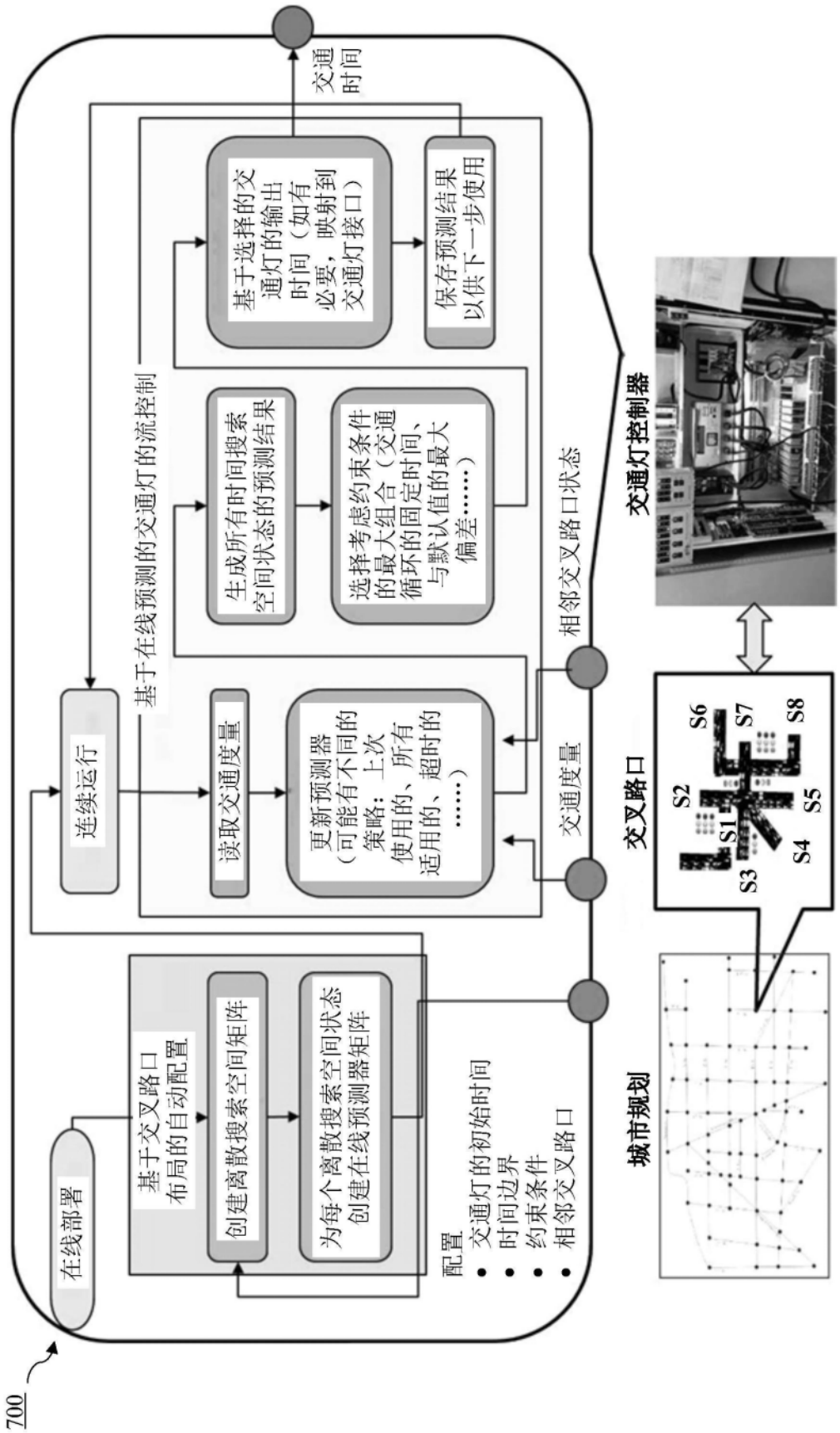

700
在线部署
基于交叉路口布局的自动配置
创建离散搜索空间矩阵
为每个离散搜索空间状态创建在线预测器矩阵
配置
• 交通灯的初始时间
• 时间边界
• 约束条件
• 相邻交叉路口
连续运行
基于在线预测的交通灯的流控制
读取交通度量
更新预测器（可能有不同的策略：上次使用的、所有适用的、超时的……）
生成所有时间搜索空间状态的预测结果
选择考虑约束条件的最大组合（交通循环的固定时间、与默认值的最大偏差……）
基于选择的交通灯的输出时间（如有必要，映射到交通灯接口）
保存预测结果以供下一步使用
交通时间
交通度量
相邻交叉路口状态
交通灯控制器
交叉路口
S1
S2
S3
S4
S5
S6
S7
S8
城市规划

图7

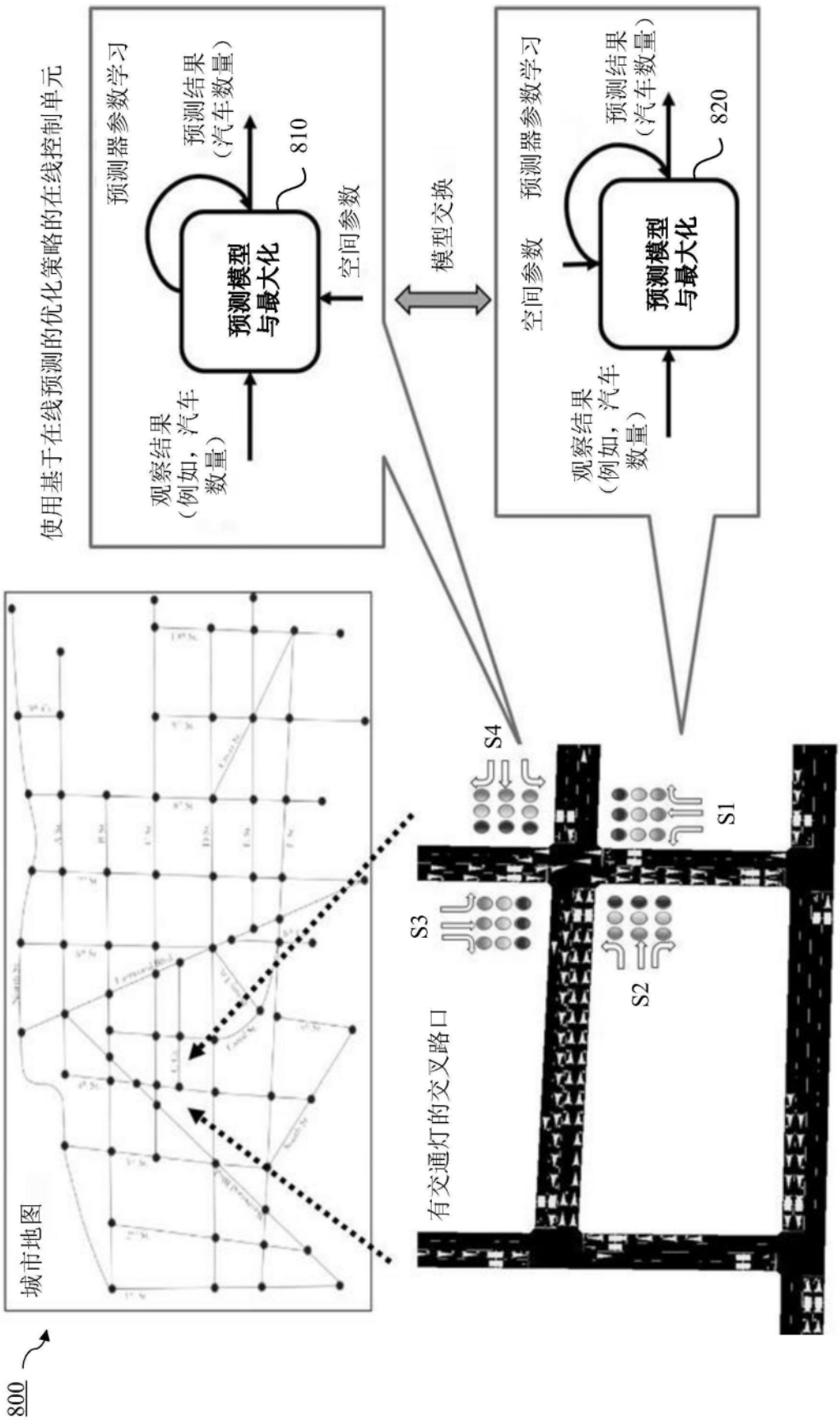

800
城市地图
有交通灯的交叉路口
S1
S2
S3
S4
使用基于在线预测的优化策略的在线控制单元
预测器参数学习
观察结果
（例如，汽车
数量）
预测模型
与最大化
预测结果
（汽车数量）
810
空间参数
模型交换
预测器参数学习
观察结果
（例如，汽车
数量）
预测模型
与最大化
预测结果
（汽车数量）
820

图8

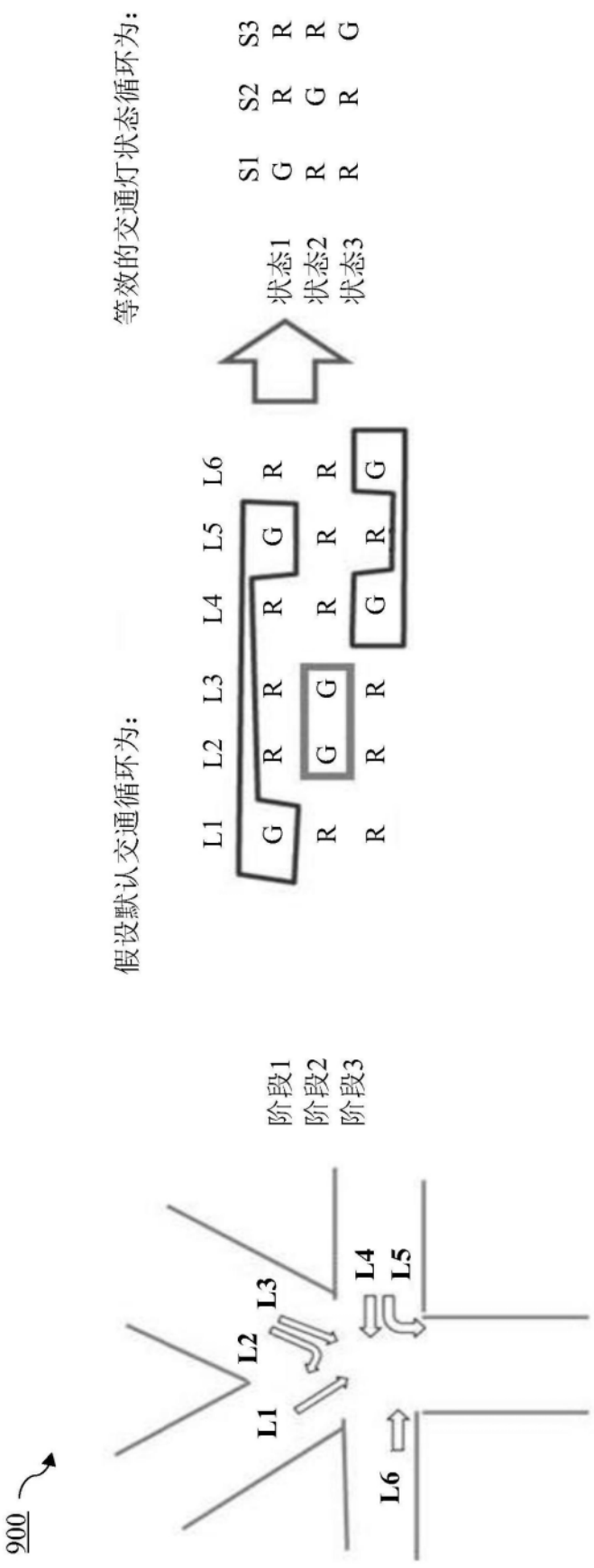

900
L1
L2
L3
L4
L5
L6
阶段1
阶段2
阶段3
假设默认交通循环为：
L1 L2 L3 L4 L5 L6
G R R R G R
R G G R R R
R R R G R G
等效的交通灯状态循环为：
S1 S2 S3
状态1 G R R
状态2 R G R
状态3 R R G

图9

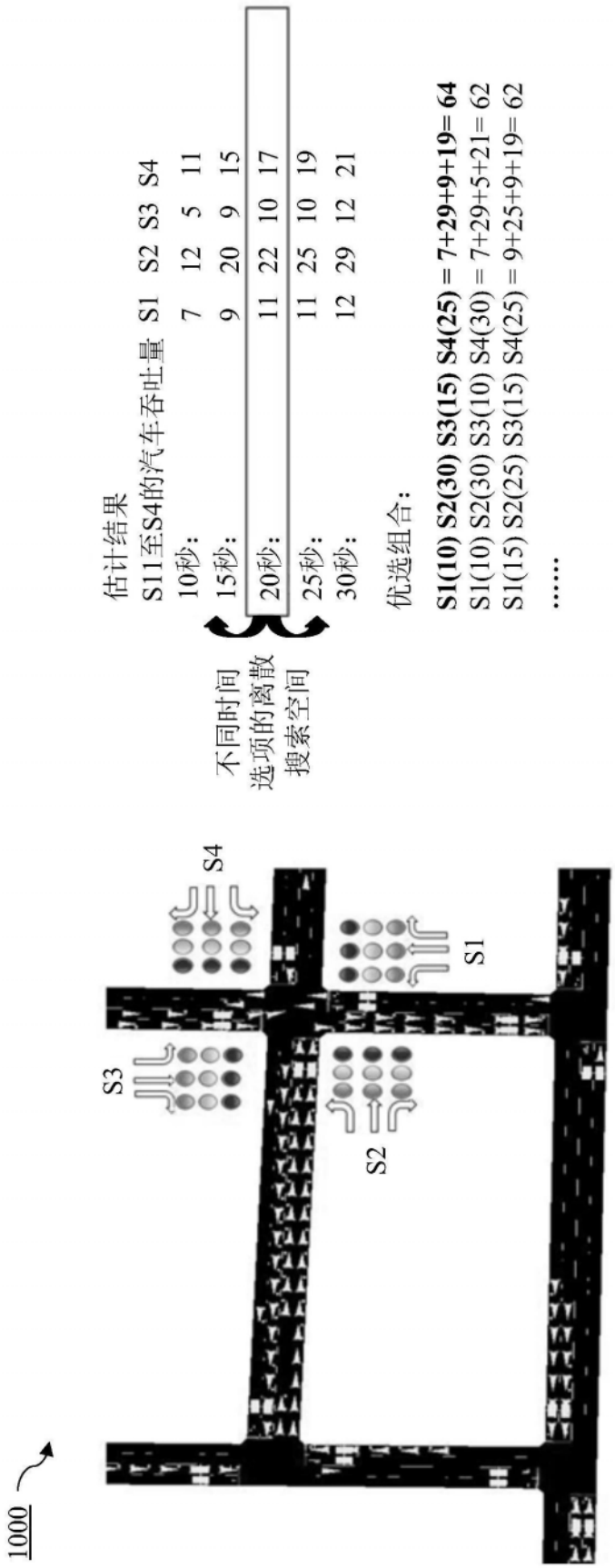

1000
S3
S4
S2
S1
不同时间选项的离散搜索空间
估计结果
S11至S4的汽车吞吐量 S1 S2 S3 S4
10秒: 7 12 5 11
15秒: 9 20 9 15
20秒: 11 22 10 17
25秒: 11 25 10 19
30秒: 12 29 12 21
优选组合:
S1(10) S2(30) S3(15) S4(25) = 7+29+9+19= 64
S1(10) S2(30) S3(10) S4(30) = 7+29+5+21= 62
S1(15) S2(25) S3(15) S4(25) = 9+25+9+19= 62
.....

图10

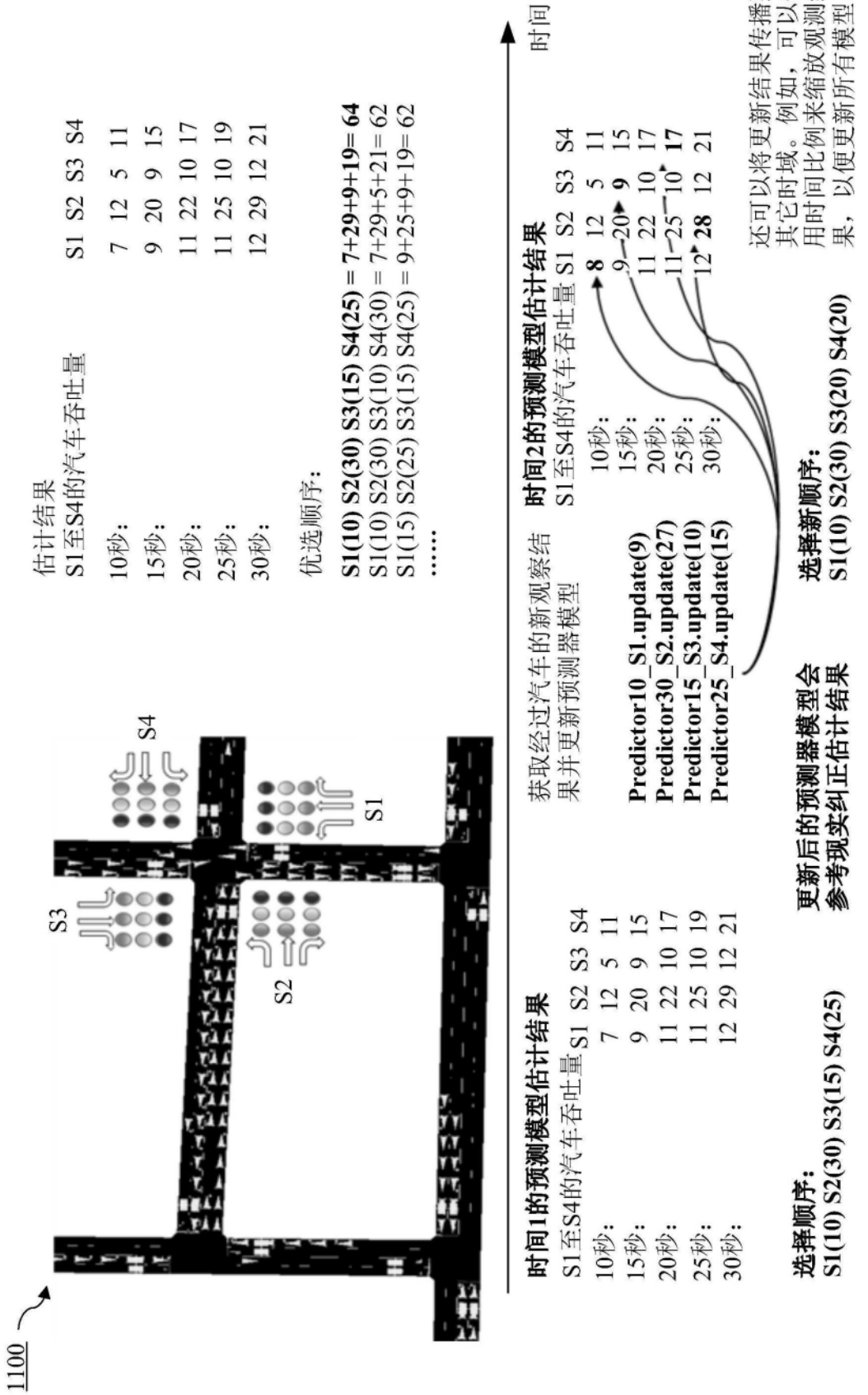

1100
S1
S2
S3
S4
估计结果
S1至S4的汽车吞吐量 S1 S2 S3 S4
10秒: 7 12 5 11
15秒: 9 20 9 15
20秒: 11 22 10 17
25秒: 11 25 10 19
30秒: 12 29 12 21
优选顺序:
S1(10) S2(30) S3(15) S4(25) = 7+29+9+19= 64
S1(10) S2(30) S3(10) S4(30) = 7+29+5+21= 62
S1(15) S2(25) S3(15) S4(25) = 9+25+9+19= 62
……
时间
时间1的预测模型估计结果
S1至S4的汽车吞吐量 S1 S2 S3 S4
10秒: 7 12 5 11
15秒: 9 20 9 15
20秒: 11 22 10 17
25秒: 11 25 10 19
30秒: 12 29 12 21
选择顺序:
S1(10) S2(30) S3(15) S4(25)
获取经过汽车的新观察结果并更新预测器模型
更新后的预测器模型会参考现实纠正估计结果
时间2的预测模型估计结果
S1至S4的汽车吞吐量 S1 S2 S3 S4
10秒: 8 12 5 11
15秒: 9 20 9 15
20秒: 11 22 10 17
25秒: 11 25 10 17
30秒: 12 28 12 21
Predictor10_S1.update(9)
Predictor30_S2.update(27)
Predictor15_S3.update(10)
Predictor25_S4.update(15)
选择新顺序:
S1(10) S2(30) S3(20) S4(20)
还可以将更新结果传播到其它时域。例如，可以使用时间比例来缩放观测结果，以便更新所有模型。

图11

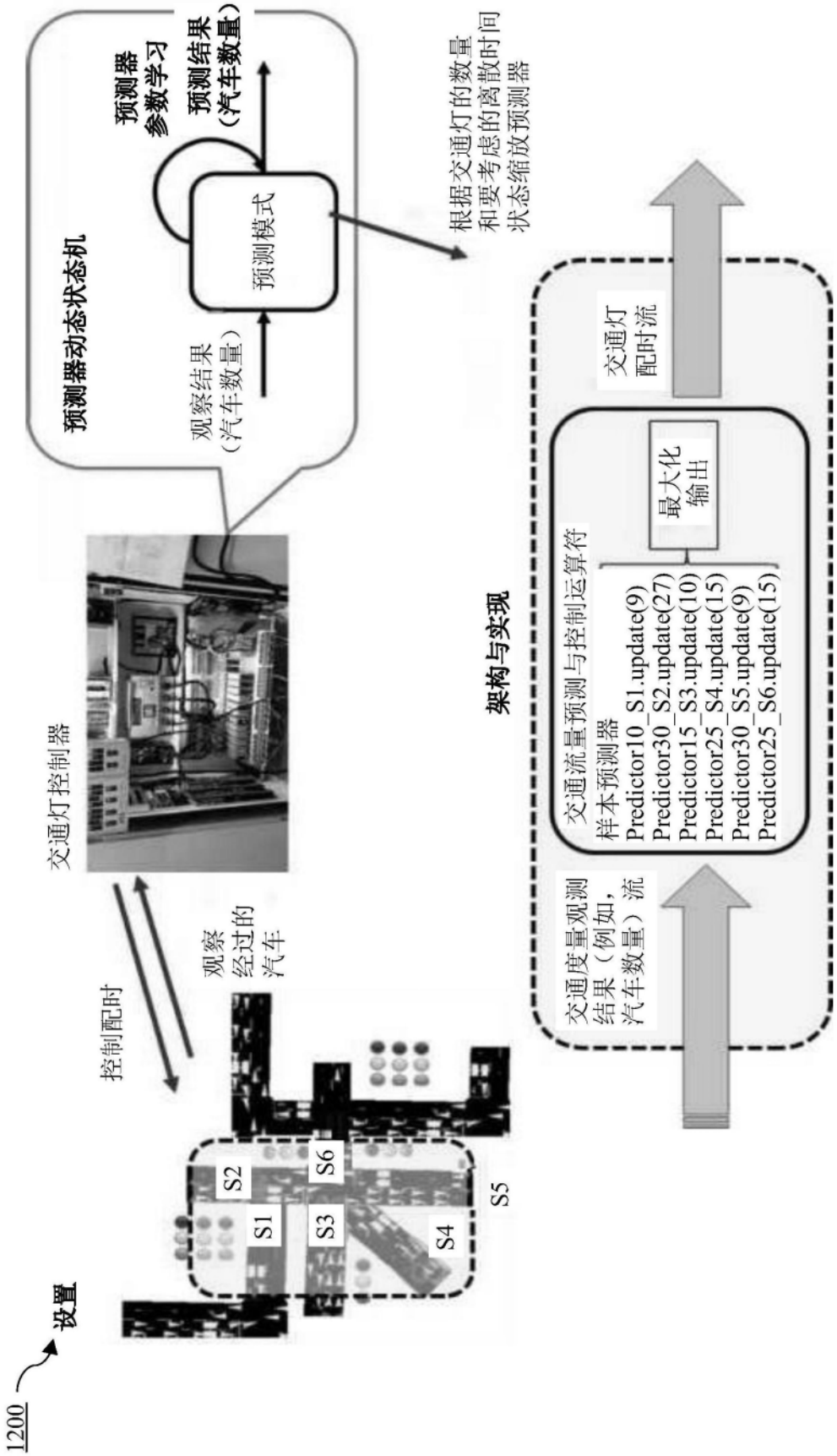

1200
设置
S1
S2
S3
S4
S5
S6
控制配时
观察经过的汽车
交通灯控制器
预测器动态状态机
观察结果（汽车数量）
预测模式
预测结果（汽车数量）
预测器参数学习
根据交通灯的数量和要考虑的离散时间状态缩放预测器
架构与实现
交通度量观测结果（例如，汽车数量）流
交通流量预测与控制运算符
样本预测器
Predictor10_S1.update(9)
Predictor30_S2.update(27)
Predictor15_S3.update(10)
Predictor25_S4.update(15)
Predictor30_S5.update(9)
Predictor25_S6.update(15)
最大化输出
交通灯配时流

图12

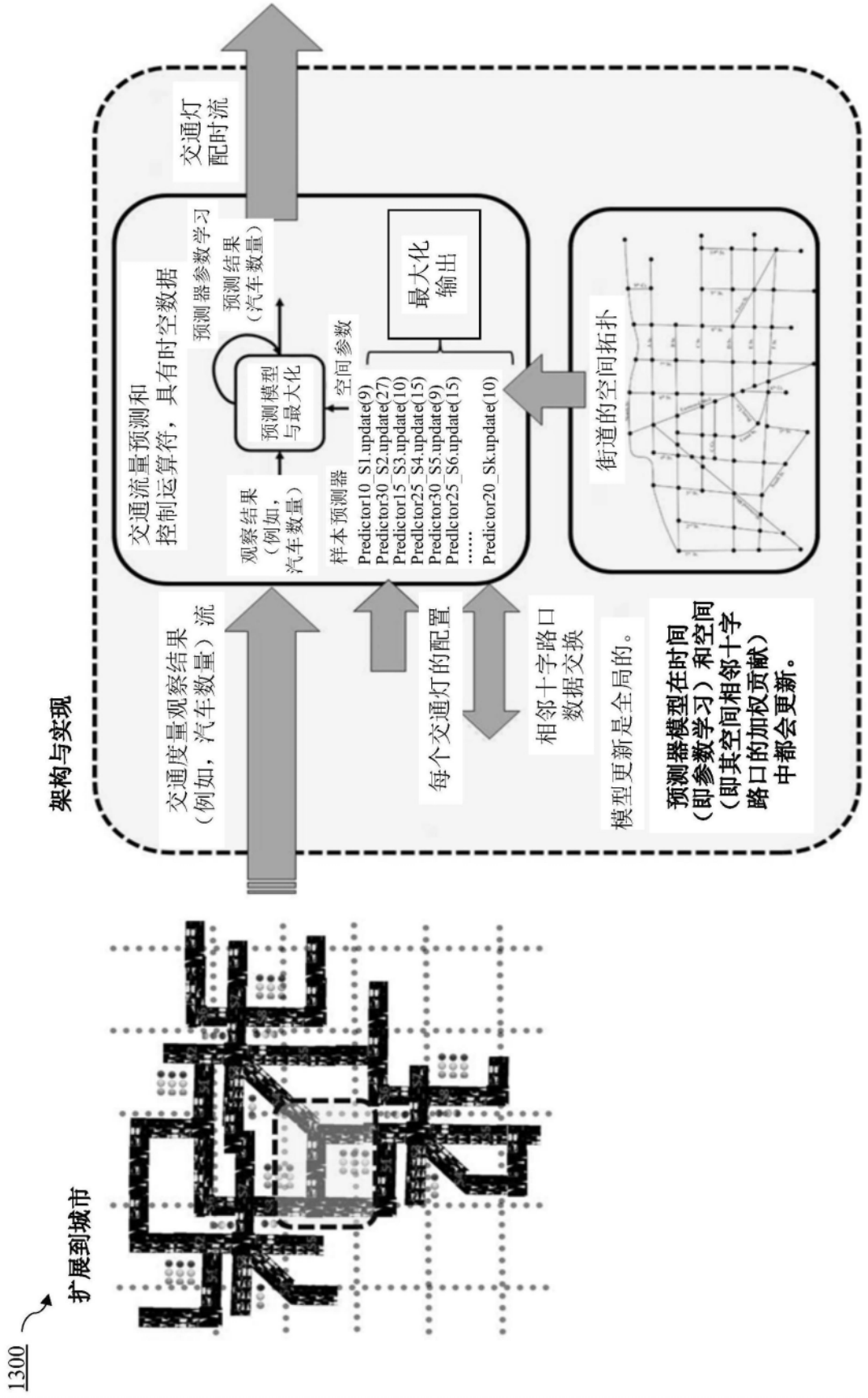

架构与实现
交通灯
配时流
交通流量预测和
控制运算符，具有时空数据
预测器参数学习
预测结果
（汽车数量）
预测模型
与最大化
空间参数
最大化
输出
观察结果
（例如，
汽车数量）
样本预测器
Predictor10_S1.update(9)
Predictor30_S2.update(27)
Predictor15_S3.update(10)
Predictor25_S4.update(15)
Predictor30_S5.update(9)
Predictor25_S6.update(15)
……
Predictor20_Sk.update(10)
街道的空间拓扑
交通度量观察结果
（例如，汽车数量）流
每个交通灯的配置
相邻十字路口
数据交换
模型更新是全局的。
预测器模型在时间
（即参数学习）和空间
（即其空间相邻十字
路口的加权贡献）
中都会更新。
扩展到城市
1300

图13

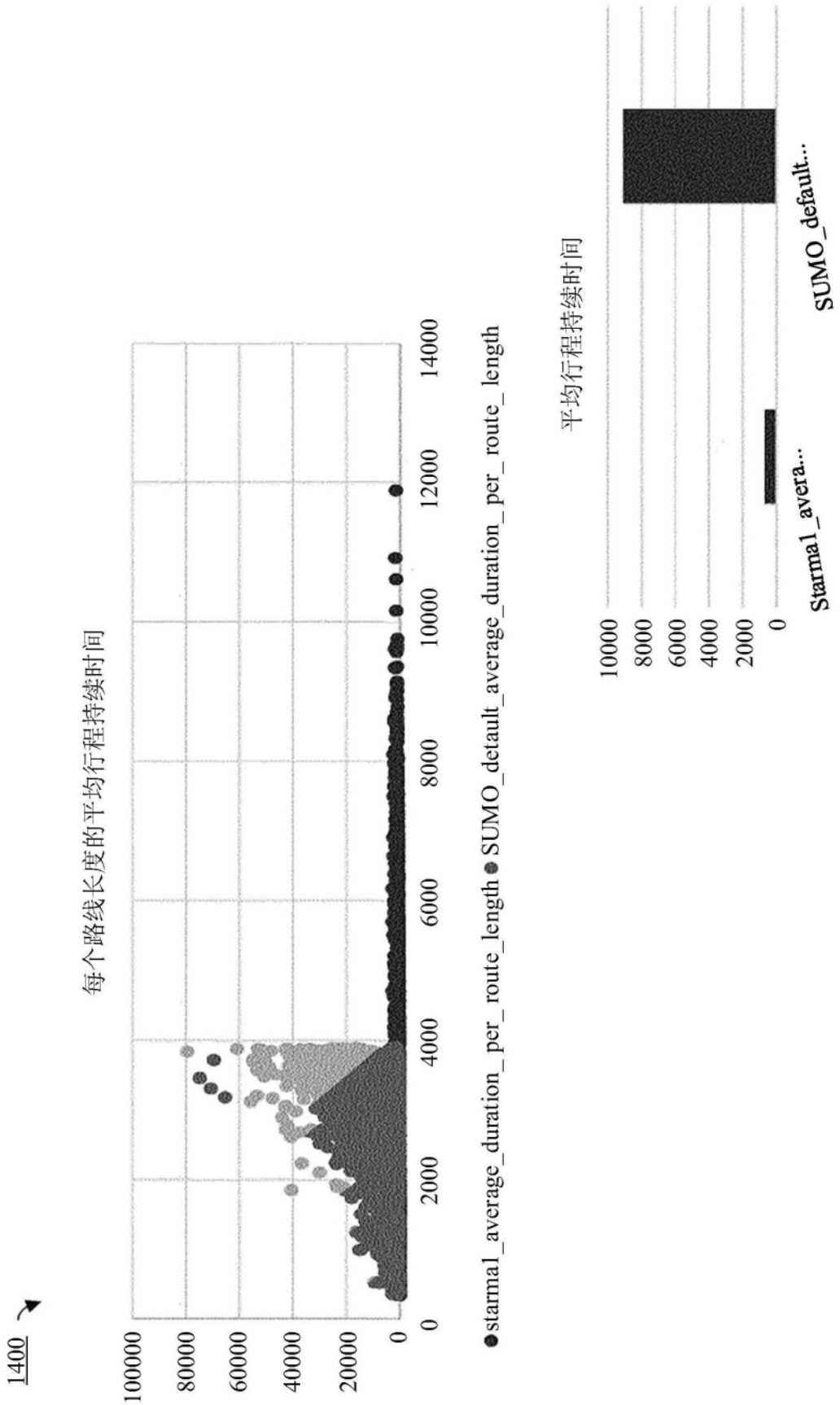

1400
每个路线长度的平均行程持续时间
100000
80000
60000
40000
20000
0
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
starma1_average_duration_per_route_length
SUMO_detault_average_duration_per_route_length
平均行程持续时间
10000
8000
6000
4000
2000
0
Starma1_avera...
SUMO_default...

图14