



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104680242 A

(43) 申请公布日 2015. 06. 03

(21) 申请号 201410696780. 8

(22) 申请日 2014. 11. 26

(30) 优先权数据

14/091737 2013. 11. 27 US

(71) 申请人 国际商业机器公司

地址 美国纽约

(72) 发明人 O·嘉蕾 B·卡瓦斯

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

11247

代理人 于静 张亚非

(51) Int. Cl.

G06Q 10/04(2012. 01)

G06Q 30/02(2012. 01)

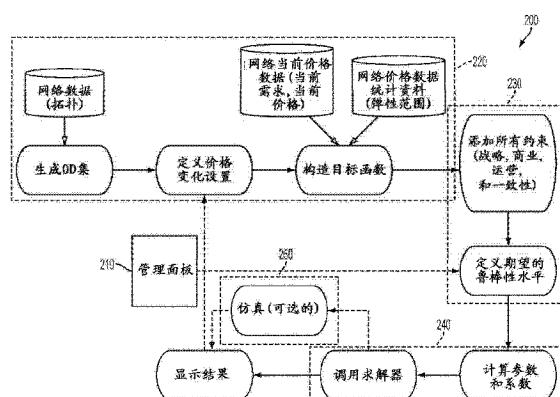
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

用于鲁棒定价解决方案的方法和系统

(57) 摘要

本申请提供了用于鲁棒定价解决方案的方法和系统。在一个实施例中，计算机实现的方法包括：识别运输网络内的多个出发地 - 目的地 (OD) 对。可以计算多个价格弹性范围，其中所述多个价格弹性范围针对多个 OD 对中的每一个包括至少一个价格弹性范围，以及其中对于每个 OD 对，相关联的价格弹性范围跨越多个值。可以接收鲁棒性参数。可以由计算机处理器至少部分地基于鲁棒性参数来计算定价方案，其中定价方案针对网络中的多个 OD 对中的每一个包括一个价格，并且至少部分地基于鲁棒性参数和多个价格弹性范围。



1. 一种计算机实现的方法,包括 :

识别运输网络内的多个出发地 - 目的地 (OD) 对 ;

计算多个价格弹性范围,所述多个价格弹性范围针对所述多个 OD 对中的每一个包括至少一个价格弹性范围,其中对于每个 OD 对,相关联的价格弹性范围跨越多个值 ;

接收鲁棒性参数 ;

由计算机处理器至少部分地基于所述鲁棒性参数来计算定价方案,其中所述定价方案针对所述网络中的所述多个 OD 对中的每一个包括一个价格,并且至少部分地基于所述鲁棒性参数和所述多个价格弹性范围。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其中与所述网络中的第一 OD 对相对应的第一价格弹性的第一范围包括标称价格弹性和所述标称价格弹性的误差度。

3. 如权利要求 1 所述的方法,还包括 :

基于所述鲁棒性参数确定不确定性的预算 ;

其中计算所述定价方案的步骤基于一组所应用的弹性,其中针对每个 OD 对的所应用的弹性在该 OD 对的价格弹性的对应范围内,以及其中所应用的弹性与其对应范围中的所述标称值相差的量至少部分地基于所述预算。

4. 如权利要求 3 所述的方法,其中所述预算的第一值将所应用的弹性的值中的每一个设置为对应的标称价格弹性。

5. 如权利要求 4 所述的方法,其中所述预算的第二值使所应用的弹性的值中的每一个能够与对应的标称价格弹性不同,以及其中所述预算的所述第一值和所述第二值不同。

6. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述鲁棒性参数确定影响针对所述网络中的所述多个 OD 对的定价方案的一般风险水平。

7. 如权利要求 1 所述的方法,还包括 :

接收一个或多个定价约束 ;

其中计算所述定价方案的步骤包括 :至少部分地基于所述鲁棒性参数、所述一个或多个定价约束、以及所述网络中所述多个 OD 对的所述多个价格弹性范围,使所述网络的预期未来收入最大化。

8. 一种系统,包括 :

模型构建单元,其配置成 :

识别运输网络内的多个出发地 - 目的地 (OD) 对 ;以及

计算多个价格弹性范围,所述多个价格弹性范围针对所述多个 OD 对中的每一个包括至少一个价格弹性范围,其中对于每个 OD 对,相关联的价格弹性范围跨越多个值 ;

模型参数单元,其配置成接收鲁棒性参数 ;以及

执行单元,其配置成至少部分地基于所述鲁棒性参数来计算定价方案,其中所述定价方案针对所述网络中的所述多个 OD 对中的每一个包括一个价格,并且至少部分地基于所述鲁棒性参数和所述多个价格弹性范围。

9. 如权利要求 8 所述的系统,其中与所述网络中的第一 OD 对相对应的第一价格弹性的第一范围包括标称价格弹性和所述标称价格弹性的误差度。

10. 如权利要求 8 所述的系统,其中所述执行单元还配置成 :

基于所述鲁棒性参数确定预算,其中计算所述定价方案的步骤基于一组所应用的弹性;

其中针对每个 OD 对的所应用的弹性在该 OD 对的价格弹性的对应范围内,以及其中所应用的弹性与其对应范围中的所述标称值相差的量至少部分地基于所述预算。

11. 如权利要求 10 所述的系统,其中所述预算的第一值将所应用的弹性的值中的每一个设置为对应的标称价格弹性。

12. 如权利要求 11 所述的系统,其中所述预算的第二值使所应用的弹性的值中的每一个能够与对应的标称价格弹性不同,以及其中所述预算的所述第一值和所述第二值不同。

13. 如权利要求 8 所述的系统,其中所述鲁棒性参数确定影响针对所述网络中的所述多个 OD 对的定价方案的风险水平。

14. 如权利要求 8 所述的系统,其中所述模型参数单元还配置成接收一个或多个定价约束,以及其中所述执行单元配置成至少部分地基于所述鲁棒性参数、所述一个或多个定价约束、以及所述网络中所述多个 OD 对的所述多个价格弹性范围,使所述网络的预期未来收入最大化。

15. 一种计算机系统,包括用于执行权利要求 1-7 中任一项的方法的任何步骤的装置。

用于鲁棒定价解决方案的方法和系统

技术领域

[0001] 本公开的各种实施例涉及定价系统，并且更特别地涉及用于运输网络以及其他产品和服务的鲁棒定价解决方案。

背景技术

[0002] 定价和最终收入管理在旅游和运输 (T&T) 产业以及其他产品和服务产业中具有集中和日益增加的重要性。由于 T&T 中不断增长的自由化，定价是 T&T 公司可以提高他们的商业和财务绩效的最具战略性和有力的方式中的一种。从市场的角度看，定价会影响乘客对运输公司的满意和信任度。另外，定价是容量管理和负荷平衡中的有力工具。进来的经济衰退已经迫使运输公司重新评估他们的定价实践以收回利润，而不使太多的收入处于危险中。出于所有这些原因，全球 T&T 产业正从单一模式、静态定价模型转变为对具有多模式、关系型和自动的定价智能的综合费用管理的新需求，以使其定价方案最优化。

[0003] 在当前的产业实践中，存在着可以设计定价方案的若干方式。主要适应于铁路和客车段的基本方法是基于距离的定价，其中出发地 - 目的地 (OD) 对之间的费用是基于所覆盖的距离。更加先进的定价方案是直接连接定价，其中独立地设置每个单独的 OD 对的费用，以考虑到政治和商业约束而使特定连接上的收入最大化。为了估计收入，需要关于乘客对费用变更的潜在反应的良好近似。当被量化时，该针对价格变更的反应被称为价格弹性或需求价格弹性。价格弹性指示未来需求将如何取决于所采用的价格。

[0004] 价格弹性是难以估计的。尽管可靠的历史数据通常可用，但这样的数据包含太少的统计信息，以至于不能提供 OD 尺度上的良好估计。准确地估计每 OD 对的价格弹性所需的数据可用性的受限、以及其他潜在随机性来源的存在（例如，竞争者动作、全球经济状态以及当前人口状况）会引起价格弹性中的不确定性。如果实际价格弹性采取不同于价格最优化尝试期间所使用的估计值的值，那么所尝试的价格最优化可能是达不到最优，并且将不会达到期望的收入。因此，在他的定价中使用所估计的价格弹性的决策者所采用的解决方案具有比他可能期望的风险更大的风险。

[0005] 当前，通常从实践的考虑中忽略价格弹性中的随机性。这会导致定价方案直接暴露于不确定性。已经使用了一些过分简单化的解决方案，全部易受不确定性的影响。基于平均值的最优化解决方案仅考虑价格弹性的标称值，忽略了未来可能发生的波动。因此，所计算的定价方案高度暴露于风险中，并且很可能将不会达到所期望的全球收入。最差情况分析解决方案仅考虑价格弹性的最差可能情况。这会导致过于保守的解决方案，并且尽管将实现所期望的收入，但是所产生的定价方案对于可适用的公司而言不是最优的，这是因为将错失潜在的收入。

发明内容

[0006] 在本公开的一个实施例中，计算机实现的方法包括：识别运输网络内的多个出发地 - 目的地 (OD) 对。可以计算多个价格弹性范围，其中所述多个价格弹性范围针对多个 OD

对中的每一个包括至少一个价格弹性范围,以及其中对于每个 OD 对,相关联的价格弹性范围跨越多个值。可以接收鲁棒性参数。可以由计算机处理器至少部分地基于鲁棒性参数来计算定价方案,其中定价方案针对网络中的多个 OD 对中的每一个包括一个价格,并且至少部分地基于鲁棒性参数和多个价格弹性范围。

[0007] 在另一个实施例中,系统包括模型构建单元、模型参数单元和执行单元。模型构建单元配置成:识别运输网络内的多个 OD 对;以及计算多个价格弹性范围,该多个价格弹性范围针对多个 OD 对中的每一个包括至少一个价格弹性范围,其中对于每个 OD 对,相关联的价格弹性范围跨越多个值。模型参数单元配置成接收鲁棒性参数。执行单元配置成至少部分地基于鲁棒性参数来计算定价方案,其中定价方案针对网络中的多个 OD 对中的每一个包括一个价格,并且至少部分地基于鲁棒性参数和多个价格弹性范围。

[0008] 在另一个实施例中,计算机程序产品包括计算机可读存储介质,在该计算机可读存储介质上体现有计算机可读程序代码。计算机可读程序代码可由处理器执行以执行一种方法。该方法包括:识别运输网络内的多个 OD 对。此外,根据该方法,可以计算多个价格弹性范围,其中多个价格弹性范围针对多个 OD 对中的每一个包括至少一个价格弹性范围,以及其中对于每个 OD 对,相关联的价格弹性范围跨越多个值。可以接收鲁棒性参数。可以至少部分地基于鲁棒性参数来计算定价方案,其中定价方案针对网络中的多个 OD 对中的每一个包括一个价格,并且至少部分地基于鲁棒性参数和多个价格弹性范围。

[0009] 附加特征及优点通过本发明的技术实现。本文详细描述了本发明的其他实施例和方面,并且它们被认为是所要求保护的发明的一部分。为了更好地理解本发明的优点及特征,参考描述和附图。

附图说明

[0010] 在说明书的末尾处的权利要求书中特别指出并清楚地要求保护被视为本发明的主题。根据结合附图给出的以下详细描述,本发明的前述和其他特征及优点将是明显的,在附图中:

[0011] 图 1 是根据本公开的一些实施例的用于实现定价系统的一个或多个方面的计算设备的框图;

[0012] 图 2 是根据本公开的一些实施例的定价系统的框图;并且

[0013] 图 3 是根据本公开的一些实施例的由不同鲁棒性水平的定价系统考虑的四个潜在不确定性集的图示。

具体实施方式

[0014] 本公开定价系统和方法的各种实施例基于需求价格弹性的估计范围提供鲁棒定价方案。

[0015] 图 1 示出根据一些实施例的用于实现定价系统或方法的计算机系统 100 的框图。本文所描述的定价系统和方法可以用硬件、软件(例如,固件)或其组合实现。在示例性实施例中,所描述的方法可以至少部分地用硬件实现,并且可以是专用或通用计算机系统 100(诸如个人计算机、工作站、小型计算机或大型计算机)的微处理器的一部分。

[0016] 如图 1 所示,在示例性实施例中,计算机系统 100 包括含处理器 105、耦合到存储器

控制器 115 的存储器 110、以及一个或多个输入设备 145 和 / 或输出设备 140，诸如经由本地 I/O 控制器 135 可通信地耦合的外围设备。例如，这些设备 140 和 145 可以包括打印机、扫描仪、麦克风等等。传统键盘 150 和鼠标 155 可以耦合到 I/O 控制器 135。例如，如本领域所已知的，I/O 控制器 135 可以是一个或多个总线或者其他有线或无线连接。I/O 控制器 135 可以具有出于简洁而省略的附加元件以实现通信，诸如控制器、缓冲器（高速缓存）、驱动器、中继器和接收器。

[0017] I/O 设备 140、145 还可以包括传送输入和输出的设备，例如磁盘和磁带存储装置、网络接口卡 (NIC) 或调制器 / 解调器（用于访问其他文件、设备、系统或网络）、射频 (RF) 或其他收发器、电话接口、桥接器、路由器等等。

[0018] 处理器 105 是硬件设备，其用于执行特别是存储在存储器 110 中的硬件指令或软件。处理器 105 可以是任何定制或市售的处理器、中央处理单元 (CPU)、与计算机系统 100 相关联的若干处理器当中的辅助处理器、基于半导体的微处理器（采用微芯片或芯片集的形式）、宏处理器、或者用于执行指令的其他设备。处理器 105 包括高速缓存 170，其可以包括但不限于用于加速可执行指令取回的指令高速缓存、用于加速数据取回和存储的数据高速缓存、以及用于为可执行指令和数据两者加速虚拟到物理地址转换的转换后备缓冲器 (TLB)。高速缓存 170 可以被组织为更多高速缓存级别 (L1、L2 等) 的分层结构。

[0019] 存储器 110 可以包括易失性存储器元件（例如，随机存取存储器、RAM，诸如 DRAM、SRAM、SDRAM 等）和非易失性存储器元件（例如，ROM、可擦除可编程只读存储器 (EPROM)、电可擦除可编程只读存储器 (EEPROM)、可编程只读存储器 (PROM)、磁带、紧凑盘只读存储器 (CD-ROM)、磁盘、软盘、卡盘、盒式磁带等等）中的任何一个或组合。此外，存储器 110 可以包含电子、磁性、光学或其他类型的存储介质。应注意的是，存储器 110 可以具有分布式架构，在该分布式架构中各种部件位于彼此的远程但可以由处理器 105 访问。

[0020] 存储器 110 中的指令可以包括一个或多个单独的程序，每个单独的程序包括用于执行逻辑功能的可执行指令的有序列表。在图 1 的示例中，存储器 110 中的指令包括适合的操作系统 (OS) 111。操作系统 111 本质上可以控制其他计算机程序的执行，并且提供调度、输入 - 输出控制、文件和数据管理、存储器管理、以及通信控制和相关服务。

[0021] 例如包括用于处理器 105 的指令或其他可取回信息的附加数据可以存储在存储装置 120 中，该存储装置 120 可以是诸如硬盘驱动器或固态驱动器的存储设备。存储器 110 或存储装置 120 中所存储的指令可以包括那些使处理器能够执行本公开的定价系统和方法的一个或多个方面的指令。

[0022] 计算机系统 100 还可以包括耦合到显示器 130 的显示器控制器 125。在示例性实施例中，计算机系统 100 还可以包括用于耦合到网络 165 的网络接口 160。网络 165 可以是基于 IP 的网络，其用于经由宽带连接在计算机系统 100 和任何外部服务器、客户端等之间通信。网络 165 在计算机系统 100 和外部系统之间传送和接收数据。在示例性实施例中，网络 165 可以是由服务提供商管理的受管理的 IP 网络。网络 165 可以以无线方式实现，例如使用无线协议和技术，诸如 WiFi、WiMax 等。网络 165 还可以是分组交换网络，诸如局域网、广域网、城域网、因特网或其他相似类型的网络环境。网络 165 可以是固定的无线网络、无线局域网 (LAN)、无线广域网 (WAN)、个人局域网 (PAN)、虚拟私有网络 (VPN)、内联网或其他适合的网络系统，并且可以包括用于接收和传送信号的装备。

[0023] 根据本公开的定价系统和方法可以全部或部分地在计算机程序产品或诸如图 1 所示的计算机系统 100 中实施。

[0024] 图 2 是根据本公开的一些实施例的定价系统 200 的框图。根据一些实施例，定价系统 200 可以提供需求价格弹性值的范围，从而使决策者能够基于他们期望的风险水平设置定价方案。

[0025] 定价方案的传统解决方案仅依赖价格弹性的标称值或最低合理值。因此，这些传统解决方案呈现过多的风险、或者导致决策者未能捕获足够量的潜在未来收入。

[0026] 定价系统的实施例使用价格弹性值的范围。该范围可以容纳未来将要观测到的能够影响价格弹性的实际值的可能波动。从实践的观点看，从可用历史数据获得的统计资料可以允许良好地计算这样的范围，即使标称值的高品质的估计是不可能的。

[0027] 通常，定价系统 200 可以提供自动的、集成的、以及在线或离线的定价最优化工具。定价系统 200 可以考虑影响价格弹性估计的不确定性，而高效地计算鲁棒定价方案。精确的数学方法可以使定价系统 200 能够提供最优或接近最优的解决方案，直至期望的鲁棒性水平。定价系统 200 可以自动地避免涉及对风险的过高暴露的价格方案。此外，定价系统 200 可以使决策者能够将一个或多个约束添加到定价最优化问题。例如，这些约束可以包括商业、运营、战略或一致性约束。

[0028] 根据定价系统 200 的一些实施例，可以将用于运输网络的价格或定价方案表示为描述在网络中的所有 OD 上获得的收入、并且因此将价格弹性的可能值作为输入的目标函数。因此，通过使用价格弹性值的范围并使目标函数最优化，定价系统 200 可以处理出现的潜在不确定性。

[0029] 定价系统 200 可以使用可以以各种方式表示的鲁棒性参数。例如并且不通过限制的方式，可以将鲁棒性参数表示为这样的范围中的整数：0 到网络中待定价的路线数目或 OD 对的数目，其中更高的值指示更高的期望鲁棒性水平。通过修改该鲁棒性参数，决策者可以调谐由定价系统 200 输出的所产生的定价方案。利用低鲁棒性参数，定价系统 200 可以输出保守的解决方案，从而提供对风险的低暴露、但可能是次优的。利用高鲁棒性参数，定价系统 200 可以输出这样的定价方案，其导致较高的期望收入、但也具有对风险的高暴露。定价系统 200 的一些实施例使用预算的多面体不确定集，其中被称为“不确定性的预算”的单个直觉参数限制在最优性下 (at optimality) 达到最差情况的不确定变量的数目，从而反映决策者愿意采用的风险厌恶或保守性的各种水平。与传统方法相反，定价系统 200 可以使决策者能够调谐他希望将期望收入的哪部分暴露于风险中，从而允许他根据需要向商业伙伴作出保证。

[0030] 现在返回到图 2，其示出定价系统 200 的实施例，其包括在定价系统 200 内发生的各种活动的流程图。如所示出，定价系统 200 可以包括管理面板 210，其中决策者可以通过该管理面板 210 操作定价系统 200。定价系统 200 还可以包括用于模型构建 220、模型参数 230、执行 240 和仿真 250 的单元，其可以包括硬件、软件或两者的组合。这些单元中的每一个可通过面板 210 访问，其中面板 210 为决策者提供接口。

[0031] 模型构建单元 220 可以使决策者能够查看或构建运输网络或者其他商品或服务网络的模型。为此，模型构建单元可以具有或可以访问包含描述所述网络的拓扑的网络数据的一个或多个数据库。应当理解的是，如本文所使用的，术语“数据库”不局限于关系数

据库,而是可以指用于维护和组织数据的各种工具。在运输网络的情况下,网络数据可以描述运输路线,该运输路线可以包括关于 OD 对的信息。模型构建单元 220 可以从网络数据构建需要定价的 OD 对。模型构建单元 220 可以然后使目标定价函数最优化,从而为各种 OD 对输出定价方案。应当理解的是,每个 OD 对之间可以存在一个或多个路线。定价系统的一些实施例可以配置成单独地对每个路线定价,而一些实施例可以配置成对于 OD 对之间的各种路线输出相同的价格,从而出于定价的目的将每个 OD 对视为路线。因此,通常,计算出的定价方案可以对于每个 OD 对包括至少一个价格,其可以包括每个 OD 对之间的每个路线的价格。

[0032] 还应当理解的是,本文所使用的术语“使最优化”不需要指最好的可能解决方案,因为“最好的可能”是主观概念。而是,当定价系统 200 执行最优化时,其可以计算满足给定标准的解决方案。所执行的最优化可以至少部分地基于 OD 对的当前定价和当前需求,并且还可以基于与弹性范围相关的统计资料以便包含期望的鲁棒性水平。

[0033] 模型参数单元 230 可以使决策者能够为目标函数输入一个或多个参数。这些参数可以影响定价系统 200 的输出。例如,这样的参数可以包括价格变化设置(例如,设置最小和最大价格)、鲁棒性水平以及与商业、战略、一致性或运营问题相关的约束。模型参数单元 230 还可以基于所使用的当前参数显示各种情景。通过模型参数单元 230,可以使决策者能够基于各种模型参数集来管理、显示和比较各种情景。例如,模型参数单元 230 可以呈现各种鲁棒性水平的定价方案之间的比较。

[0034] 执行单元 240 可以基于由决策者选择的参数来实现下面所讨论的计算,并且可以从而基于那些参数来输出被认为是最优的定价方案。

[0035] 仿真单元 250 可以基于实际价格弹性的所确定的可能范围中的一个或多个价格弹性值,并且还基于一个或多个定价方案来提供收入仿真。在可能的价格弹性和定价方案被给定的情况下,仿真单元 250 可以计算每个潜在收入结果的概率。

[0036] 根据本公开的一些实施例,运输网络可以是由定价系统 200 执行的收入最优化的对象。贯穿本公开的剩余部分所使用的框架将参考示例性运输网络描述如下:

[0037] 在运输网络内,存在一组车站 $N = \{1, \dots, N\}$ 。由定价系统 200 的实施例执行的定价可以包括:为网络中的一些或全部 OD 对或 OD 环节 L_{ij} (其中 $i, j \in N$ 并且 $i \neq j$) 设置提供给消费者的基准票的价格,其中每个 OD 环节(link) 表示各个 OD 的出发地和目的地之间的至少一个路线。将针对跨越 L_{ij} 的路线的票的价格表示为 P_{ij} 。当考虑取决于方向的价格时(即,其中 P_{ij} 和 P_{ji} 可能不同),在网络中将要考虑的不同 OD 的数目 M 由 $M = N*(N-1)$ 给出。在与方向无关的定价的情况下,OD 的数目于是为 $M = 0.5*N*(N-1)$ 。定价系统 200 可以使决策者能够选择应该使定价取决于方向还是无关于方向。对特定 OD L_{ij} 的特定需求由 D_{ij} 表示。

[0038] 定价系统 200 可以在当前价格 P_{ij} 和当前需求 D_{ij} 对于每个 OD 环节 L_{ij} 是已知的情况下操作。定价系统 200 可以基于由鲁棒性参数指示的保守性程度来识别新的定价方案(其可以包括针对一些或全部 OD 对的新的一组价格 P_{ij})以便潜在地使整个运输网络的全球收入最大化。

[0039] 通常认为价格变更会相反地影响需求。更具体地,价格上升会导致需求减小,并且价格下降会导致需求增大。更具体地,给定当前模型框架,当特定 OD 环节 L_{ij} 的价格上升

时,相应需求被预期为采取小于或等于当前需求的相应值 D_{ij} 。需求价格弹性是消费者在需求方面对价格变更的响应的度量。在一些实施例中,该度量表示响应于价格的百分之一变更的需求百分比变更。许多因素可以直接或间接影响 OD 环节 L_{ij} 的价格弹性。例如,这些因素包括通勤者与非通勤者的比率、服务质量和服务长度。在一些情况下,这些因素可能对于每个 OD 对是特定的,使得与第二 OD 对相比,第一 OD 对可以经历来自价格变更的不同影响。基于微分学,可以使用以下等式估计需求曲线上给定点处的价格弹性 e_{ij} ,其中“cur”上标指示当前值、且“new”上标指示将被计算的新值:

$$[0040] \quad e_{ij} = \frac{P_{ij}^{cur}}{D_{ij}^{cur}} * \frac{D_{ij}^{new} - D_{ij}^{cur}}{P_{ij}^{new} - P_{ij}^{cur}} \quad (1)$$

[0041] 给定每个 P_{ij} 和其相应 D_{ij} 之间的相反关系,情况可以是:对于所有 $i, j \in N$, $e_{ij} < 0$, 其中 $i \neq j$ 。当对于给定的 OD 环节 L_{ij} 而言 $|e_{ij}| \leq 1$ 时,那么该 OD 对可以被认为是无弹性的(即,与 L_{ij} 相关联的票的价格变更对售出票的数目没有大影响)。相反地,当 $|e_{ij}| > 1$ 时,相关联的 OD 对可以被认为是弹性的。应当理解的是,还可以使用“弹性”和“无弹性”的其他定义。

[0042] 重新排列等式 1 中的各项,可以获得并使用以下等式来计算作为新价格的函数的新需求:

$$[0043] \quad D_{ij}^{new} = (1 - e_{ij})D_{ij}^{cur} + e_{ij} \frac{D_{ij}^{cur}}{P_{ij}^{cur}} P_{ij}^{new} \quad (2)$$

[0044] 可以将网络的当前全球收入 R^{cur} 计算为使用当前价格和需求在所有 OD 对的范围内产生的收入的总和。在特定 OD 环节 L_{ij} 所产生的收入由 $R(P_{ij}, D_{ij})$ 给出的情况下,对于所有 $i \neq j$,当前收入可以如下所示:

$$[0045] \quad R^{cur} = \sum_{i, j \in N} R(P_{ij}^{cur}, D_{ij}^{cur}) \quad (3)$$

[0046] 价格修改后的全球收入 R^{new} 可以是:

$$[0047] \quad R^{new} = \sum_{i, j \in N} R(P_{ij}^{new}, D_{ij}^{new}) \quad (4)$$

[0048] 通常,决策者希望识别这样的价格方案,其在风险回报权衡方面使他的偏好最优化,并且从而使新的全球收入最优化。为此,决策者寻求确定他能够以不显著地驱散需求的方式将当前价格增加多少。在实践中,票价格很少下降,即使没有考虑长期通货膨胀。决策者几乎始终提升标准票的价格或将它们保持不变。即使其会实际地从增大的需求带来更多收入,但是价格下降可能对消费者满意度和相关联的企业形象具有负面影响。价格下降会给消费者带来费用在先前被过高定价并且消费者在过去已经被欺骗的印象。促销背景内的价格通常是暂时的并且不表示全年可用的标准票的价格。定价系统 200 的实施例可以通常针对标准票价格,但应当理解的是,也可以利用变化的输入参数集和其他考虑因素来计算促销定价。

[0049] 定价系统 200 可以识别每个 OD 环节 L_{ij} 的新价格(其中 $i \neq j$)以便潜在地使由等式 4 给出的新收入 R^{new} 最大化。使用等式 2 中的新 D_{ij} 的表达式,可以获得以下凸优化(convex optimization)模型,给定每个 $i \neq j$:

$$[0050] \quad P_{ij}^{new} = \sum_{i,j \in N} (1 - e_{ij}) D_{ij}^{cur} P_{ij}^{new} + e_{ij} \frac{D_{ij}^{cur}}{P_{ij}^{cur}} (P_{ij}^{new})^2 \quad (5)$$

[0051] 以上等式不受二次型目标 (quadratic objective) 的约束, 并且可以经由各种现有求解器高效地求解。然而, 当试图使用这样的模型时实践者所面对的主要挑战在于估计其参数, 特别是估计各种 OD 环节 L_{ij} 的价格弹性 e_{ij} 的值。这是由于准确地估计这些弹性所需的数据的有限可用性。如果价格弹性采取与求解等式 5 所给出的模型的过程中使用的所估计的标称弹性值不同的值, 则所获得的解决方案可能会变为次优的, 并且会导致采用这些解决方案的决策者承担比他所愿意接受的风险更多的风险。

[0052] 如上所述, 获得精确和准确的弹性估计是困难的。然而, 根据本公开的各种实施例, 可以假设针对所有 OD 环节 L_{ij} 的每个价格弹性 (其中 $i \neq j$) 落入以下范围:

$$[0053] \quad e_{ij} \in [\bar{e}_{ij} - \hat{e}_{ij}, \bar{e}_{ij} + \hat{e}_{ij}] \quad (6)$$

[0054] 上文中, $\bar{e}_{ij} < 0$ 是 OD 环节 L_{ij} 的价格弹性 e_{ij} 的标称点估计, 并且 $\hat{e}_{ij} > 0$ 是估计误差, 即围绕该标称值的可能波动。定价系统 200 的实施例可以在可为每个 OD 对获得等式 6 中的范围的假设下操作。

[0055] 定价系统 200 可以将价格弹性建模为属于有界对称置信区间 (诸如等式 6 中所示的区间) 的不确定参数。在 z_{ij} 是服从未知的对称分布的 $[-1, 1]$ 中的随机变量的情况下, 各种价格弹性可以表示如下:

$$[0056] \quad e_{ij} = \bar{e}_{ij} + \hat{e}_{ij} z_{ij} \quad (7)$$

[0057] 定价系统 200 可以通过采用鲁棒最优化方法来解决起源于等式 5 的最优化模型中的数据不确定性的风险。该方法可以是最差情况方法, 在该最差情况方法中, 在价格弹性的一组合理变化的范围内寻求最差情况全球收入的最大化, 其中所述一组合理变化反映了由潜在价格变更触发的相应需求变化。由于假设价格弹性是 OD 特定的并且彼此独立, 因此在实践中可能不切实际的是: 每个价格弹性都处于其最差情况值。确实, 从大数定律来看, 一些将很可能高于它们的标称估计, 并且一些将很可能低于它们的标称估计。定价系统 200 可以使用这样的模型, 其通过固定预算来限制可从其标称估计发生变化的价格弹性值的数量。该预算可以至少部分地由鲁棒性参数来确定。在一些实施例中, 取决于用于鲁棒性参数的格式, 预算可以采取与该参数相同的值。对于 $i \neq j$, 预算 Γ 可以被定义如下:

$$[0058] \quad \Gamma \geq \sum_{i,j \in N} |z_{ij}| \quad (8)$$

[0059] 当 $\Gamma = 0$ 时, 那么不确定的弹性全都不被允许偏离它们的标称值 e_{ij} , 并且因此可以使模型成为等式 5 中给出的原始模型。相反, 当 Γ 等于网络中的 OD 的数目时, 那么可以允许所有价格弹性参数变化或者潜在地达到处于它们各自的可容许范围内的最差情况值。

[0060] 图 3 是在二维问题的情况下, 针对不同鲁棒性水平和相应预算 Γ 考虑的四个典型不确定集的图示。图 3 示出预算 Γ 如何与施加在不确定参数上的范围相结合来直接控制不确定集的大小。

[0061] 通过配置等式 5 中给出的最优化模型、并且结合以上讨论的不确定性模型, 可以获得以下最大 - 最小公式化表述:

$$\begin{aligned}
 & \max_{P_{ij}^{new}} \min_{\bar{z}_{ij}} \sum_{i,j \in N, i \neq j} \left(1 - (\bar{e}_{ij} + \hat{e}_{ij} \bar{z}_{ij}) \right) D_{ij}^{cur} P_{ij}^{new} + (\bar{e}_{ij} + \hat{e}_{ij} \bar{z}_{ij}) \frac{D_{ij}^{cur}}{P_{ij}^{cur}} (P_{ij}^{new})^2 \\
 [0062] \quad & \text{s.t. } \sum_{i,j \in N, i \neq j} |\bar{z}_{ij}| \leq \Gamma \\
 & |\bar{z}_{ij}| \leq 1 \forall i, j \in N, i \neq j
 \end{aligned} \tag{9}$$

[0063] 以上的内部最小化问题可以被凸化 (convexified) 或被重写为最大化, 从而获得可以由定价系统 200 使用的以下易处理的鲁棒最优化模型。

[0064]

$$\begin{aligned}
 & \max_{P_{ij}^{new}} \sum_{i,j \in N, i \neq j} \left(1 - \bar{e}_{ij} + \bar{e}_{ij} \frac{P_{ij}^{new}}{P_{ij}^{cur}} \right) D_{ij}^{cur} P_{ij}^{new} - \alpha \Gamma - \sum_{i,j \in N, i \neq j} \xi_{ij} \\
 & \text{s.t. } \alpha + \xi_{ij} - \hat{e}_{ij} P_{ij}^{new} D_{ij}^{cur} \left(\frac{P_{ij}^{new}}{P_{ij}^{cur}} - 1 \right) \geq 0 \forall i, j \in N, i \neq j \\
 & \xi_{ij} \geq 0 \forall i, j \in N, i \neq j, \alpha \geq 0
 \end{aligned} \tag{10}$$

[0065] 决策者可以作出各种选择, 这些选择可以由定价系统 200 结合在开发定价方案的过程中。例如, 决策者可以选择价格弹性的潜在误差的值, 该误差在本文中用 \hat{e}_{ij} 表示。决策者还可以通过改变单一直觉控制参数、鲁棒性参数、并因此定义预算 Γ 来管理所使用的不确定集的大小, 其中所述预算 Γ 可以作用于计算出的定价方案的鲁棒性水平。当决策者更保守时, 那么更高的鲁棒性水平以及因此更大的预算 Γ 可以是更适当的。如果决策者愿意不那么保守并且承担更多风险, 那么他可能更偏向于较小的预算 Γ 。

[0066] 如本文所描述的, 定价系统 200 可以是自动决策支持工具, 其配置成提供鲁棒定价方案解决方案。尽管本公开聚焦于运输网络, 但应当理解的是, 定价系统 200 的各种实施例可以适用于价格弹性不确定的其他领域。此外, 一些实施例可以适用于除定价和需求之外的领域, 在该领域中第一因素以不确定的方式基于第二因素。例如并且不通过限制的方式, 定价系统 200 的实施例可以适用于消费者商品和服务; 基于广告弹性的多渠道市场营销; 补给参数影响服务水平的存货控制和库存管理; 基于带宽或延迟积压反应的通信网络; 基于生物系统响应因素的生物化学; 以及基于胡克弹性定律的结构工程。

[0067] 在此所用的术语仅用于描述特定实施例的目的, 并且并非旨在限制本发明。如在此所使用的, 单数形式的“一”、“一个”和“该”旨在也包括复数形式, 除非上下文另有明确指示。将进一步理解的是, 当在本说明书中使用时, 术语“包括”和 / 或“包含”指的是所陈述的特征、整数、步骤、操作、元件和 / 或组件的存在, 而并不排除一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、元件、组件和 / 或其组合的存在或附加。

[0068] 下面的权利要求中的所有装置或步骤加功能元件的对应结构、材料、动作和等效体意在包括任何用于结合其他明确宣称的宣称元件来执行功能的结构、材料或动作。本发明的描述已为说明和描述之目的而被呈现, 而非意在是无遗漏的或局限于所公开形式的发明。在不脱离本发明的范围和精神的前提下, 许多修改和变化对于本领域普通技术人员来说将是明显的。实施例被选择并描述以便最佳解释本发明的原理和实际应用, 并且使得本领域普通技术人员能够理解本发明从而获得具有适合于所预期的特定用途的各种修改的各种实施例。

[0069] 此外,所属技术领域的技术人员知道,本发明的各个方面可以实现为系统、方法或计算机程序产品。因此,本发明的各个方面可以具体实现为以下形式,即:完全的硬件实施方式、完全的软件实施方式(包括固件、驻留软件、微代码等),或硬件和软件方面结合的实施方式,这里可以统称为“电路”、“模块”或“系统”。此外,在一些实施例中,本发明的各个方面还可以实现为在一个或多个计算机可读介质中的计算机程序产品的形式,该计算机可读介质中包含计算机可读的程序代码。

[0070] 可以采用一个或多个计算机可读介质的任意组合。计算机可读介质可以是计算机可读信号介质或者计算机可读存储介质。计算机可读存储介质例如可以是——但不限于——电、磁、光、电磁、红外线、或半导体的系统、装置或器件,或者任意以上的组合。计算机可读存储介质的更具体的例子(非穷举的列表)包括:具有一个或多个导线的电连接、便携式计算机盘、硬盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可擦式可编程只读存储器(EPROM或闪存)、光纤、便携式紧凑盘只读存储器(CD-ROM)、光存储器件、磁存储器件、或者上述的任意合适的组合。在本文件中,计算机可读存储介质可以是任何包含或存储程序的有形介质,该程序可以被指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用。

[0071] 计算机可读的信号介质可以包括在基带中或者作为载波一部分传播的数据信号,其中承载了计算机可读的程序代码。这种传播的数据信号可以采用多种形式,包括——但不限于——电磁信号、光信号或上述的任意合适的组合。计算机可读的信号介质还可以是计算机可读存储介质以外的任何计算机可读介质,该计算机可读介质可以发送、传播或者传输用于由指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用的程序。

[0072] 计算机可读介质上包含的程序代码可以用任何适当的介质传输,包括——但不限于——无线、有线、光缆、RF等等,或者上述的任意合适的组合。

[0073] 可以以一种或多种程序设计语言的任意组合来编写用于执行本发明操作的计算机程序代码,所述程序设计语言包括面向对象的程序设计语言——诸如Java、Smalltalk、C++等,还包括常规的过程式程序设计语言——诸如“C”语言或类似的程序设计语言。程序代码可以完全地在用户计算机上执行、部分地在用户计算机上执行、作为一个独立的软件包执行、部分在用户计算机上部分在远程计算机上执行、或者完全在远程计算机或服务器上执行。在涉及远程计算机的情形中,远程计算机可以通过任意种类的网络——包括局域网(LAN)或广域网(WAN)——连接到用户计算机,或者,可以连接到外部计算机(例如利用因特网服务提供商来通过因特网连接)。

[0074] 下面将参照根据本发明实施例的方法、装置(系统)和计算机程序产品的流程图和/或框图描述本发明。应当理解,流程图和/或框图的每个方框以及流程图和/或框图中各方框的组合,都可以由计算机程序指令实现。这些计算机程序指令可以提供给通用计算机、专用计算机或其它可编程数据处理装置的处理器,从而生产出一种机器,使得这些计算机程序指令在通过计算机或其它可编程数据处理装置的处理器执行时,产生了实现流程图和/或框图中的一个或多个方框中规定的功能/动作的装置。

[0075] 也可以把这些计算机程序指令存储在计算机可读介质中,这些指令使得计算机、其它可编程数据处理装置、或其他设备以特定方式工作,从而,存储在计算机可读介质中的指令就产生出包括实现流程图和/或框图中的一个或多个方框中规定的功能/动作的指令的制造品。

[0076] 计算机程序指令还可以加载到计算机、其它可编程数据处理装置或其他设备上，以使一系列操作步骤在计算机、其它可编程装置或其他设备上被执行以产生计算机实现的过程，使得在计算机或其它可编程装置上执行的指令提供用于实现流程图和 / 或框图中的一个或多个方框中规定的功能 / 动作的处理。

[0077] 附图中的流程图和框图显示了根据本发明的多个实施例的系统、方法和计算机程序产品的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上，流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段或代码的一部分，所述模块、程序段或代码的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。也应当注意，在有些作为替换的实现中，方框中所标注的功能也可以以不同于附图中所标注的顺序发生。例如，两个连续的方框实际上可以基本并行地执行，它们有时也可以按相反的顺序执行，这依所涉及的功能而定。也要注意的是，框图和 / 或流程图中的每个方框、以及框图和 / 或流程图中的方框的组合，可以用执行规定的功能或动作的专用的基于硬件的系统来实现，或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。

[0078] 本发明的各种实施例的描述已经出于说明的目的而被呈现，但并不旨在是无遗漏的或局限于所公开的实施例。在不脱离所描述的实施例的范围和精神的情况下，许多修改和改变对那些本领域普通技术人员而言将是明显的。本文所使用的术语被选择为最佳地解释实施例的原理、实际应用、或优于市场中找到的技术的技术改进，或者使本领域的其他普通技术人员能够理解本文所公开的实施例。

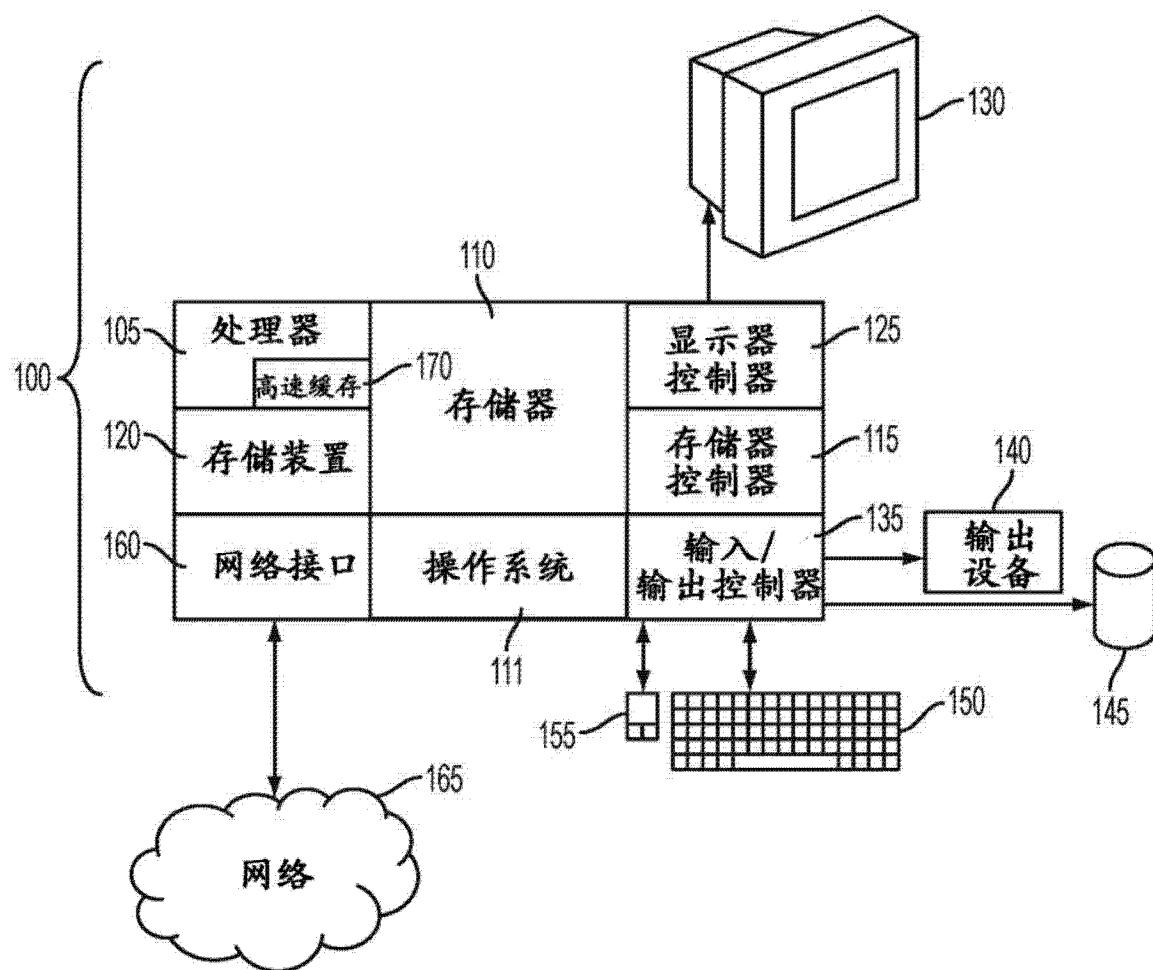


图 1

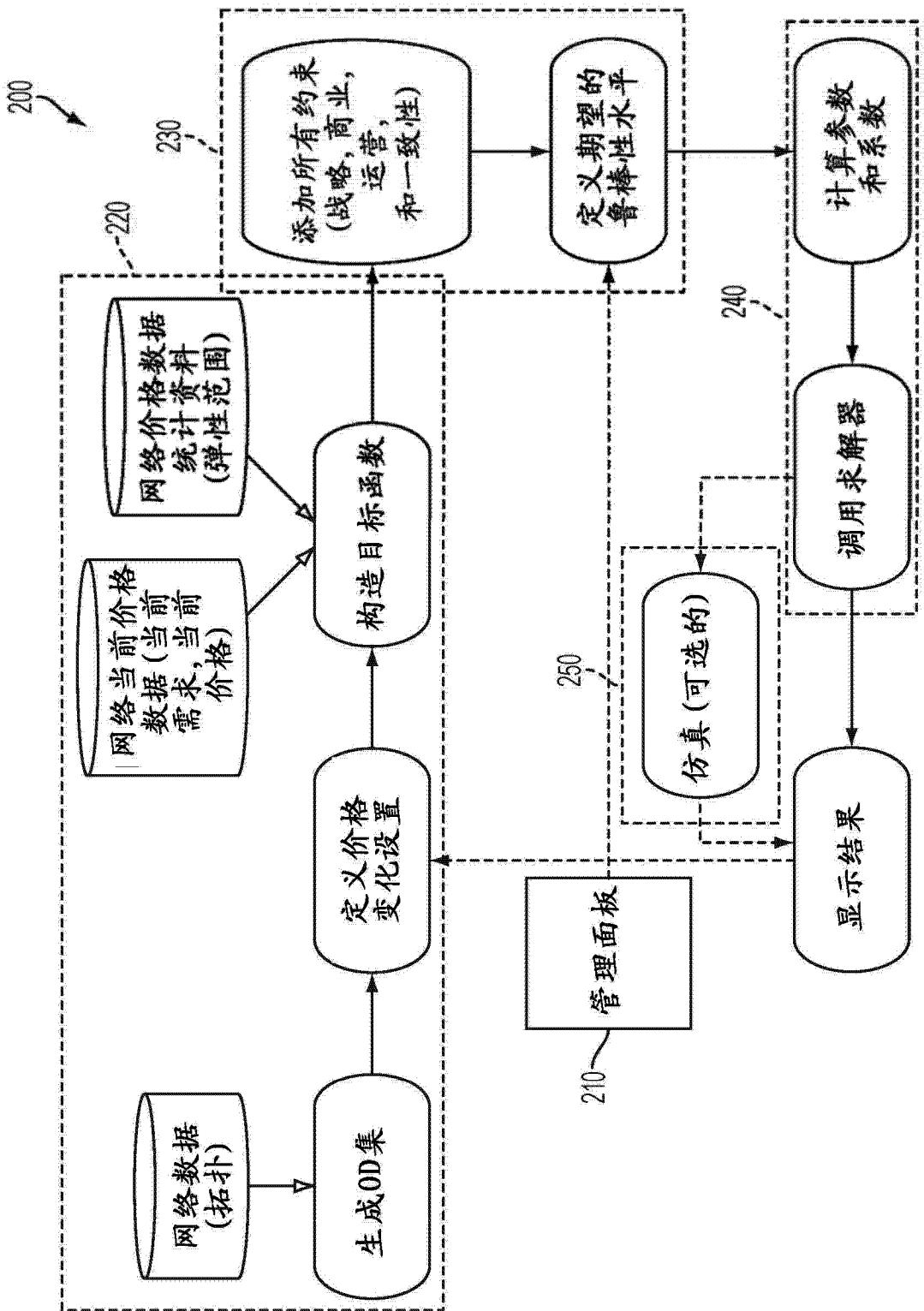


图 2

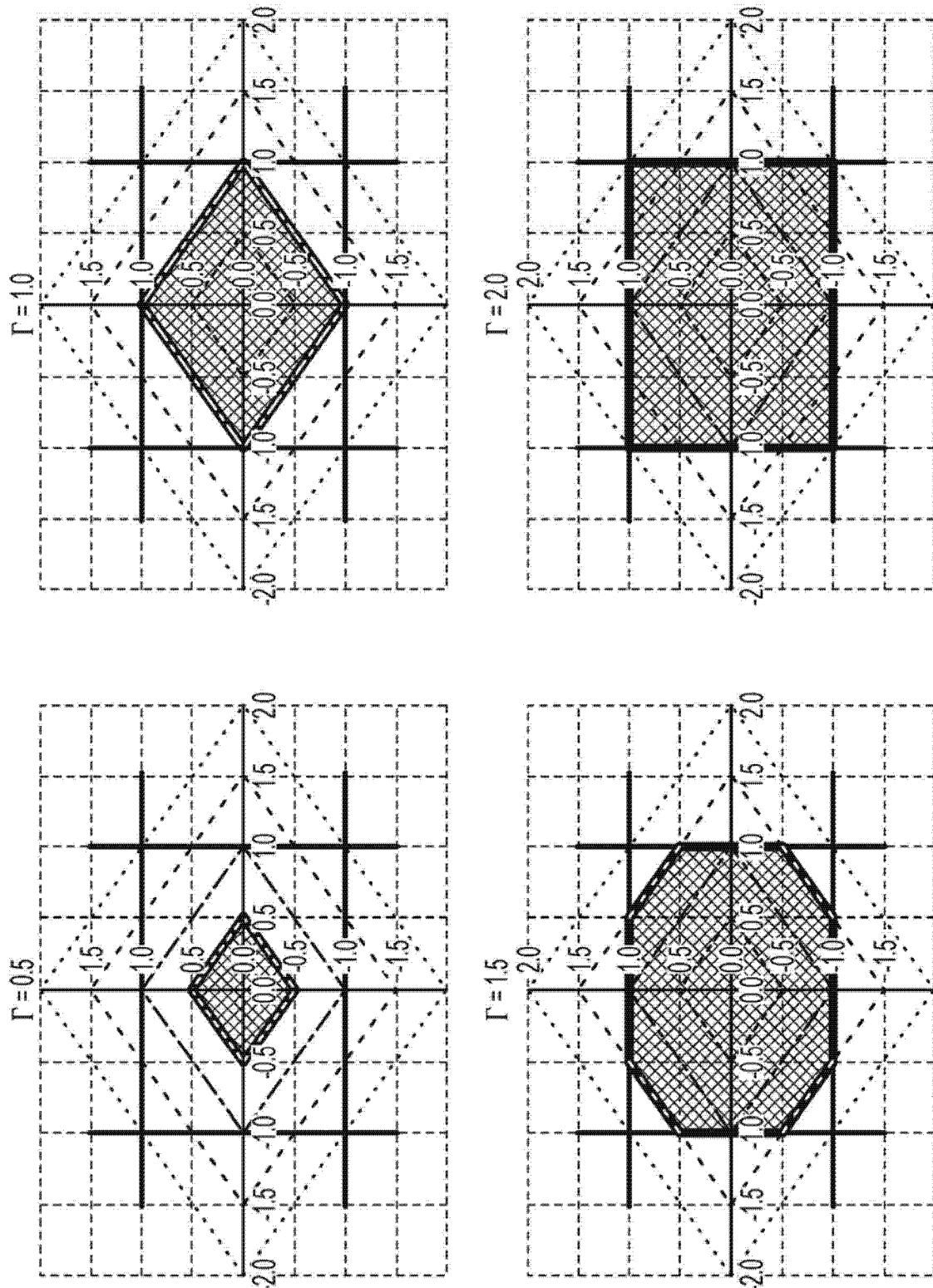


图 3