**交叉对接在供应链管理的多级车辆路径问题**

**摘要**

在供应链和物流中，多级分布网络是非常常见的。从工厂向客户交付的多个项目是由路线和正在进行长期库存的货物来管理的。从另一方面说，交叉对接是一种不同于仓储的物流技术，因为产品不再是存储在中间站中。相反的，交叉码头设施是在客户需求和立即运送到目的地的基础上巩固进货。混合策略结合直航，仓储和交叉对接经常应用在真实世界中的分配系统。这项工作涉及混合多梯队多项目分布网络的经营管理。N -梯队车辆路径问题和供应链管理（VRPCD单片机问题）中交叉对接的目标包括在最低的总运输成本满足客户需求。一个VRPCD单片机基于混合整数线性数学公式单片优化框架被提出。几个问题的实例计算结果的报告。

**关键字：**供应链管理，物流，分布式网络，车辆路径和调度，交叉对接

1. **简介**

工业公司经常完成一些列的活动例如从供应商购买体育材料，在中间设施制造和存储最终产品，还有将这些最终产品传递给客户。供应商，制造商，仓库和客户是所谓的供应链（SC）从上游到下游的运载货物的重要组成部分。四大主要业务的职能是在供应链中的表现：采购，生产，库存和分销。后者关注的是原材料的运输或零部件从供应商到工厂的运输，和从工厂到需求地点的最终产品的运输。因为供应链的主要职能是由材料和信息流强烈联系起来的，他们不能单独管理(Cohen and Lee, 1989;Vidal and Goetschalckx, 1997)。它们中的良好协调是大多数制造企业的关键问题。供应链管理（SCM）的主要目的是通过有效控制供应链中的物流，以提高作为一个系统的性能。一个有效的供应链管理有助于大幅度降低运营成本，提高客户服务水平。在供应链的下游，分布包括多个最终产品从工厂到需求点的直接转移或者通过转运设施转移。一个交通网络的这些额外组件通常是分配中心（DCs）或者是仓库。它们充当工厂和最终客户的中间位置，既方便促进来自不同供应商的出货量整合，又满足在高峰期客户通过对产品的货物库存积累的需求。通过这种方式，更低的运输成本和更快的响应时间是在终端费用和库存成本的增加的基础上实现的。因为一个多层次地点的分销配送网络使得库存管理的困难大幅度增加。从多个源到多个目的地的分布是物流的本质（Langevin et al.,1996）。使用N-梯队网络存储运输费用（不适用2梯队）的部分原因也是由于经济规模因为不同大小的车辆的使用层次不同。线长途货车被分配到入境交通去运输从工厂到他们的中间存储设施的终端产品。载荷运载工具火来被转移到遇有较低容量与这些设施和服务的最终目的地。负荷后来被转移到在这些设施和最终目的地之间具有比较低的容量和服务的运载工具上。为了在一定期间内存储产品，另外两项任务通常在包含分配中心（DCs）和仓库的分销网络中完成，叫做整合和散装业务。整合是由结合类似的出货或者是在分配中心几个起源不同产品。散装的功能刚好相反，它是将一个要输送给客户的大负荷起源分割成很多，更小的部分。

另一个中间阶段的类型是交叉对接措施，在这里当货物到达仓库的时候，要进行大量迁入、合并出货量作业。这些货物得到妥善整理，并立即派出车辆将货物发送给客户。换句话说，交叉对接意味着产品通过跨码头设施从接收码头到运送码头的快速移动，在交付给客户之前产品会停在跨码头设施中停留很短时间。货物在跨码头设施（也称为卫星平台或者简单卫星）的发货时间，通常不超过24个小时。除了提供良好的客户服务，交叉对接策略已经在传统的仓储中有着一些重要的优势，因为它降低库存成本，存储空间的需求和订单周期时间，加速资金周转（Cook,Gibson and MacCurdy, 2005）。导致相当竞争优势的交叉对接成功案例已经在多个行业中报道出来，这些行业有着显著的比例分配成本，比如食品和饮料生产，制药公司，汽车制造商和零售连锁店。一个真正的世界食品工业设置最近已经由博伊森发表（2010）。对冷冻冷藏食品和其他产品，如药品，特点是冷却链必须完整。一旦货物被卸载在中间的设施，必须立即装入一个冷藏货车输送出去。没有冷却设施的中间存储设备是不允许的。需要更快地运送到市场保持产品新鲜度和质量的易腐烂的产品中，交叉对接系统也能很好工作。

不同类型的分配网络是由工业公司实现的。在直接送货的制造商仓储，供应点是工厂，需求点是客户，即单梯队战略。当分销存储被采用，分销商就是中间设施，就像分配中心或者仓库，需求点就包括客户和零售商。在这种情况下，产品库存是专门设在配送中心的，并且所有货物都是从分配中心派送到每一个客户。此外，没有转运点和一个单级分销网络仍然被使用。制造商存储通常是为高价值产品计划的，这些高价值产品非常难以预测，而快速移动的存货项目存储在分配中心以便获得更好的响应。另一个类型的分配系统包含工厂和仓库就像有产品库存的供应点在两种类型的设施和货物直接从制造商运送给客户或者通过仓库运送给客户，即是一个二级分销网络。如果仓库中再收的股票是积极的，但是比需求低一些，它是用来部分满足需求，而且其余部分通过从其他来源运送产品或者从制造商存储中转直航。复杂式N级分销系统可包含的中间仓库比单级的多。另一个方面，交叉对接策略意味着在制造商存储的货物从工厂到分配中心中产品库存得到巩固，在分配中心中，接收负载要在24-48小时内从接收移动到货运码头，之后再调度它们到消费区。这也是一个二级分布式网络。交叉对接保留了在生产现场集中库存和跨码头设施出货的整合的优点，也就是说制造业与过境存储合并。在任何情况下，选择的网络设计应该根据分配的项目类型和客户的需求服务。一个量身定制的分配政策需要将混合型网络与基于仓库和交叉对接的制造商存储结合起来。在同一个工业部门的公司往往会选择不同的网络设计，主要是因为它们的经营策略是针对不同性能指标如响应时间、产品的可用性或者是客户的满意度。

为了有效地设计和管理大型销售网络，长期战略规划，中期规划和战术性的短期业务发展规划应该定期进行（Simchi-Levi et al., 2004）。在业务层面分布关注的是短期的库存管理和运输规划。交通运输代表着一个总物流成本的很大一部分。在业务规划中，车辆路线和时间计划是在可用的资源、供应商和客户的位置以及产品需求的基础上产生的。这个问题的目标是尽量减少运输成本，同时满足客户按时交货等各种需求。虽然对分配问题进行了大量的研究，注意力主要是集中在战略和战术规划。为N级分销网络业务规划的最优化方法是对典型车辆路径问题扩展（车辆路径）的方法。为此，他们通常分解为单级分销的若干问题。除此之外，很少有对包含交叉对接的N梯队运输网的处理。本文为在短期运作规划并且使用仓储和交叉对接策略的N梯度多项目分销网络介绍了一种新的整体优化结构。从制造商的产品到客户的直航和/或通过仓库和交叉转运点同时被考虑。客户需求点的要求，其中可能包括多种类型产品，并且在规划期开始的时候，工厂和仓库的初始库存都已经被知道。除此之外，供应商、仓库和交叉转运点的数量和位置是问题数据。

1. **文献回顾**

对N级分销系统已经做了大量工作，但问题主要集中在设施位置和流量分配上(Tsiakis et al., 2001; Jayaraman and Ross,2003; You and Grossmann, 2008; Bonfill et al., 2008; Amaro and Barbosa-Póvoa,2008; Verderame and Floudas, 2009)。相反，车辆路径已被视为一种简化的方式或者是不明确的考虑。两个著名的分布在战术层面的问题是在N级位置路由问题（NE-LRP）和库存路径的问题（IRP）。大多数研究都跟2级梯队系统有关（N=2）。NE-LRP的主要目的是通过优化设施的数量和设施的位置这两个梯度定义出分配制度结构，即是在每一个水平的车队规模和在每一个梯度的物流配送。从另一个方面说，库存路径问题是一个长远规划问题，它为研究在供应链中的两个重要功能集成提供一个良好的起点，即库存管理和运输。它更关注客户的使用量，而不是有多少建立在客户的订单服务交付给客户。但是，很少有注意力去关注到达客户地址的具体路径。IRP的目标是尽量减少对规划期内的平均销售成本，同时避免在客户地点缺货。对NE-LRP和IRP的完整研究可以分别在Salhi和Nagy（2007）和Moin和Salhi（2007）中找到。

直到最近，N-梯队物流配送车辆调度问题（NE-VRP）已经获得一些关注。最常见的实例是两个梯队的车辆路径问题（2E-VRPCD）。它已经被Perboli et al.（2008）介绍为经典VRP的延伸，如一个单一的仓库货物交付给客户是通过路由和巩固在中间站的负荷（所谓的卫星）所管理的。后来，货物从卫星发送给客户。因此，2E-VRPCD为一个交叉对接系统处理车辆路由和调度。这个问题假定一个单一的车厂或者起源，以及一些固定数量的能力受限的卫星。直接从仓库运送到客户是不允许的，而且只有一个被认为是货运型。车辆属于有相同固定容量的同一个级别。除此之外，所有客户的需求是固定的和预先知道的，并且必须满足调度水平线。时域不会出现问题的提出，因此没有为运送和卫星操作定义的时间窗口。为了解决2E-VRPCD问题，交通网络通畅分解为两个层次，比较高的那个层次连接到卫星平台，比较低的层次连接到客户。我们的目标是将两个层次中的运输成本最小化。几个版本的2E-VRPCD都被进行了研究。在最一般的情况下，每颗卫星可以为更多的一级车辆服务，因此有关卫星的需求可以分为2个或者更多的卡车。每一个运输级别都有自己的运输车队，并且一些级别的车辆不能重新分配到另一个。因为这是最新推出的，对2E-VRPCD问题的文献相当有限。Perboli et al.（2008）提出一个多整型线性规划以及通过加强的线性松弛有效得到更好的下限。从仓库到卫星的运输成本，和从卫星到每一个客户地址的运输成本都被给出来。相反的，时间方面，如旅行时间装货/卸货作业和时间窗并不被考虑。一组测试问题包含一个基站，两个卫星和32个客户被最优解决。当卫星个数上升，并且有50个客户，CPU处理了5000s，平均最优差距在30%以上。为了降低计算成本，应用了一系列的现行松弛法为基础的数学模型为基础的启发式方法。这样做了之后，只用很短的CPU处理时间得出了非最佳解决方案的平均差距为21%的最优下限。

Crainic et al.（2010）采用了一个分离策略，将2E-VRP问题分割成2个主要的路由子问题，每一个层次一个。第二个层次则是进一步分解为作为卫星数量尽可能多的VRPs，假设分配给每一个卫星的客户群都是已知的。客户到卫星的分配问题是通过一个基于聚类启发式程序将客户分配到最近卫星来解决的。以同样的方式，第一级的VRP包括了一个仓库和一系列卫星，这些卫星每一个需求都等于分配给它的客户需求总和。在这两个层面的VRPs进行迭代求解，同时通过重新分配客户到卫星进行调整卫星需求。时空方面仍然被忽略。与Perboli et al.（2008）相比，对2E-VRPCD问题的所谓的多起点启发式提出一个更好的计算性能。在CPU消耗时间更低的基础上，一些好的解决方案包括高达5个卫星和50个用户被提出。

一个密切相关的问题是所谓的车辆路径交叉对接问题（VRPCD）。该VRPCD是通过单个交叉对接从供应商（提取节点）到客户（交付节点）之间的运送问题。从供应商的产品是由一个车队一起提取，由同一组车队在交叉码头立即像客户交付而没有通过中间存储。那么，问题包含汽车路线设计以及交叉对接码头的巩固。该VRPCD的主要特点如下：（i）单一类型产品的处理；（ii）每个节点必须有同一车辆访问一次；（iii）车辆可以提取或者提供超过一个供应商或者客户；（iv）提取和运送路线起点和终点都在交叉对接点；（v）在提取/交付节点加载/卸载的数据是知道的；（vi）在接收码头卸载的总量跟在航运码头装载的总量应该想等，即在交叉对接点上没有年底库存。问题的目标是减少总运输成本，同时满足规划时限内的所有节点的请求。节点的服务时间窗口通常被指定。VRPCD和2E-VRPCD问题之间有着很大的不同：（a）一个单个的交叉对接点 vs. 几个卫星平台；（b）一个基于交叉对接的车队 vs. 几个车队；（c）多个来源 vs. 单个来源；（d）节点服务的时间窗 vs. 忽视时空方面；（e）提取和交货要求 vs. 客户需求。Lee et al.（2006）是第一个学习VRPCD问题的作者。他们开发了一个混合整数规划模型，综合考虑了交叉对接操作和车辆路径调度，假设所有从供应商触发的车辆在交叉对接点同时到达。这样的时间约束往往避免了车辆在交叉对接点的等待。时间窗没有被指定，并且必须在规划期内满足客户需求。由于这个问题是NP-难，采用了一个基于禁忌搜索的启发式算法。改模型的线性松弛提供了一个下限，用以比较所找到方法的目标价值。最近，Liao et al.（2010）为VRPCD提出了一种新的禁忌搜索算法，在此解决了一系列基准问题，由Lee et al.介绍。良好的解决方案可以在更低的计算时间中获得。

Wen et al.（2009）研究了一个相似的问题，但是，在这个情况下，提取和交付任务是有提前确定的时间窗而且车辆来往于供应商和交叉点不一定要同时到达。另外，客户的要求是指在两个节点上，即货物装载的提取节点和交付节点是既定的。由于提取和交付业务是在交叉对接点进行的，交叉对接点由四个节点组成，前两个节点代表提取路线的开始和结束点，后两个节点是交付航线的极值点。一个混合整数规划制定被开发。通过忽略了联组提取和交付活动，由此产生的模型对应具有两个都灵的VRPTW的问题，即2-VRPTW问题。最佳的解决方案为2-VRPTW问题提供了一个较低的VRPCD约束。为了解决这个问题，开发了一个内嵌了自适应存储过程的禁忌搜索启发式算法。例子涉及多达200对节点被处理。一个非最佳的解决方案是在很短的计算时间中发现的，它的2-VRPTW的下限指标值小于5%。