第 5 章　迁移工作流多服务主体收益分配方法

5.1　概述

由于单个服务主体的能力和资源是有限的，迁移工作流的服务主体基于业务熟人网络内的主动服务可以看作多智能主体合作求解的一种形式，即业务熟人网络中的服务主体合作是采用的动态联盟的组织策略，旨在将信息、服务和资源等方面的合作转化成竞争优势，并最终物化为收益。但有了收益就不可避免地面临收益分配问题，联盟收益分配的结果是否公平合理会直接影响到盟员合作的积极性，从而影响收益的进一步生成。迁移工作流中每个服务主体在执行主动服务的过程中在保证最大化的合作效用的同时，都有一个明确的目标，即通过策略或选择行动优化自己的收益期望值。因此，建立良好的收益分配方法关系到业务熟人网络是否能够稳定有效的运行并最终实现迁移工作流目标，是迁移工作流实现主动服务必须解决的关键问题之一。

本章主要研究迁移工作流业务熟人网络内多服务主体的收益分配策略，提出了一种简单而有效的实时收益补偿的协调方法，先将参与迁移工作流主动服务的多服务主体分配收益的问题形式化为一个多人的动态合作博弈，再通过随着时间而转变的动态合作博弈获取收益协调补偿信息。

本章首先介绍了基于动态合作博弈的收益分配研究，然后定义了多服务主体收益分配模型，提出多服务主体收益分配的动态优化策略及算法，实验结果表明采用动态合作博弈的方法确定收益的协调补偿，避免多服务主体退出熟人网络的行为直至主动服务圆满结束，达到多赢的帕累托最优局面。

5.2　基于动态合作博弈的收益分配研究

业务熟人网络收益合理分配是维持和巩固业务熟人网络参与者合作关系的根本保证。业务熟人网络管理的重点就是建立并维护业务熟人网络合作伙伴关系，使合作成员协调一致，各尽所能地发挥自己的优势，在为用户提供满意的资源或服务的同时，尽可能地降低动态熟人网络运营成本，实现业务熟人网络整体收益最大化的目标。而业务熟人网络中的参与者是一个独立的实体，它有自己完整的组织机构，是一个理性的组织，每个成员都有自己的

利益目标，都想获得尽可能多的利益，当然它更不愿意自己的利益受到损害，这就涉及业务熟人网络收益如何在熟人间进行公平、合理分配的问题。如果收益分配公平、合理，就会使现有的业务熟人网络合作关系得到巩固和加强；反之，如果收益分配不够公平、合理，就会损害业务熟人网络组织机构间的合作关系，影响业务熟人网络的整体效率和绩效，甚至会导致整个业务熟人网络瓦解。因此，业务熟人网络组织机构合作收益的公平、合理的分配是维持和巩固业务熟人网络合作伙伴关系的根本保证。

参与业务熟人网络有两个条件：一是业务熟人网络获得的整体收益要远大于未参与业务熟人网络之前所有服务主体独自获得的收益之和；二是参与业务熟人网络之后，每个熟人所获得的收益要大于他没有参与业务熟人网络时所获得的收益。

正是上述两个条件得到满足后，服务主体才愿意加入到业务熟人网络中，并且愿意维持这种合作伙伴关系。如果业务熟人网络中某个熟人获得的收益少于参加业务熟人网络之前所获得的收益，或他认为业务熟人网络的收益分配不公平，那么，这个熟人就会不再愿意与其他熟人进行合作，或者退出业务熟人网络，或者破坏业务熟人网络，这就会降低业务熟人网络合作的效率，损害整个业务熟人网络的收益。相反，如果他觉得业务熟人网络上的收益分配公平合理，即使短期内他获得的收益不高于未加入业务

熟人网络之前所获得的收益，他也会愿意与其他熟人进行合作，与其他熟人采取一致的行动。

博弈论研究的内容主要是决策主体的行为发生直接相互作用时的决策及均衡问题，它的应用范围已延伸至政治、经济和军事等各个学科，获得了极大的成功。20 世纪 80 年代以来，博弈论逐渐成为管理科学研究的一个重要工具，在“机制设计”“委托-代理”“契约理论”等方面得到了广泛的应用。

合作博弈的基本形式是联盟型博弈，它隐含的假设是存在一个在参与者之间可以自由转移的交换媒介，每个参与者的效用在其中是线性的。

Shapley 用公理化的方法，基于合作伙伴的贡献给出了联盟分配解 Shapley 值的概念，构建了联盟分配的核心，核心是不被其他任何分配优超的分配全体组成的集合。

Von Neumann 和 Morgenster 引入了稳定集的概念，稳定集内部不存在优超关系，对任意一个其他分配总能在稳定集中找到一个优超于它的。

Aumann 和 Maschler 通过引入异议（objeetion）和反异议（counter-objection）给出了 A-M 谈判集（bargaining set）作为合作博弈的分配解，即没有一个合理理由反对的解。

Zhou 基于联盟结构提出了 L-z 谈判集，解决了 A-M 谈判集过于庞大的问题。

Davis 和 Maschler 基于超出额(一个成员没有其他合作情况下所能得到的最大额外收入)定义了核仁(kernel),并证明了核仁是谈判集的子集。

Schmeidler 通过考虑超出额在欧氏空间里的字典编纂式排序(lexicographic order),使最不满意的联盟怨言最小而引入了核子(nucleofus)作为合作博弈的分配解,直观来讲,Shapley 值相当于数集的平均值而核子类似于中位数。关键的是,核子是非空的,核子是核仁的子集,核子仅包含一个点。如果核仁和核心(core)都是非空的,那么它们的交集也是非空的。

Maschler 和 Tijs 分别给出了 σ 值和 τ 值的概念,实际上是稳定集上界和下界的一种妥协值。

Aumann 对效用可转移的情况进行了推广,给出了效用不可转移联盟博弈中核心的概念和刻画,公理化了 N 罚博弈,延拓了 Shapley 值并证明了延拓值的唯一性。

Aumann 和 Shapley 把公理化值的概念推广了到非原子博弈中。

从以上文献的研究现状可以看出,收益分配是联盟研究中一个比较重要的问题,不少学者进行了许多卓有成效的工作。同时,动态联盟强调盟员之间的合作,而每个盟员都是有其自身利益的独立主体,合作博弈值理论在动态联盟收益分配的研究中可以解决许多问题。但是目前利用合作博弈论来解决业务熟人网络收益分配还有待进一

步深入，本章将合作博弈论与业务熟人网络合作问题紧密结合，对业务熟人网络收益问题进行分析和研究，为合理度量与评价熟人在业务熟人网络中的贡献、制定公平的收益分配方案提供基础。

5.3　多服务主体收益分配模型

本节将建立多服务主体收益分配模型，该模型适应于迁移工作流动态环境中多服务主体在熟人网络内的合作，能够促进多服务主体在合作中协同效应，发挥各方的特长和优势，为迁移实例提供主动服务，创造共赢的结果。

在多服务主体收益分配模型中，服务主体效用相对越大，获得的收益相对越高。在本模型中有 k 个服务主体参与熟人网络并分享熟人网络的收益，这些服务主体需要采用一定的策略获得收益才能完成目标，故实现目标的服务主体执行状态是沿着一定轨迹的迁移。根据经典的最优控制问题相关理论，下面给出一般的（连续时间）多服务主体收益分配的模型。

定义 5-1　多服务主体收益分配的模型 mspa 是一个四元组（N，S，v，x）。其中，N 表示迁移工作流中有限的服务主体集合；S 表示业务熟人集合；v 表示一个定义在集合 N 的函数，函数 v 对域 N 当中的非空子集——业务熟人集合 S 都有一个赋值，其值为一个实数，用$<N,v>$

表示支付可转移的联盟型博弈；支付向量 $\boldsymbol{x}=(x_1,x_2,\cdots,x_i,\cdots,x_n)$代表总收益的划分，而向量中的 x_i 是参与者 i 所分得的支付。

每位参与业务熟人网络内服务主体是理性的，一个为所有服务主体所接受的支付向量必须符合整体理性和个体理性，给出定义如下。

定义 5-2 整体理性是指所有服务主体的收益分配的和等于业务熟人网络的总收益，即

$$\sum_{i\in N}x_i=v(N)$$

定义 5-3 个体理性是指每个服务主体参加业务熟人网络所得收益都比“各自为政”时高，即

$$x_i\geqslant v(\{i\})$$

定义如下参数：

（1）R^n 为 n 维欧氏空间，任何 $x(t)\in R^n$ 称为状态变量；

（2）R^m 为 m 维欧氏空间，任何 $u(t)\in R^m$ 称为控制变量；

（3）$g:[t_0,T]\times R^n\times R^m\rightarrow R^n$；

（4）$f:[t_0,T]\times R^n\times R^m\rightarrow R$；

（5）$h[x_i(T)]$：给定的函数 h 是关于终端状态 $x(T)$ 的末值函数。

所以服务主体 i 得到的收益值是：

$$\int_{t_0}^{T} g^i[x_i(t),u_i(t)]\mathrm{d}t + h[x_i(T)] \quad i \in [1,2,\cdots,k] \tag{5-1}$$

主体 i 的收益都与主体状态有着密切关系，受控于状态方程：

$$\dot{x}_i(t) = f[t,x_i(t),u_i(t)] \tag{5-2}$$

系统的初始条件是 $\dot{x}_i(t_0)=x_0$，$\dot{x}(\cdot)$称之为主体可允许的状态轨迹。

假设在业务熟人网络完成特定目标的主动服务过程中收益是可以转移的，对不同服务主体的收益进行比较。在每个时间点 t，服务主体 i 都会收到瞬时收益 $g^i[x_i(t),u_i(t)]$，而在主动服务过程结束的时间 T，主体 i 得到终点收益 $h[x_i(T)]$。主体 i 的瞬时收益和终点收益与状态变量成正比关系，即状态变量 $x_i(t)$越大，瞬时收益 $g^i[x_i(t),u_i(t)]$和终点收益 $h[x_i(T)]$的值越大。

例如，在迁移工作流系统中的 k 个服务主体的业务熟人网络中，$x_i(t)$是服务主体 i 的服务资源存储量，假定服务主体所提供的服务资源按一定的速度消耗 $p_i(t)$，且按一定的速度建设服务资源 $u_i(t)$，则服务主体服务状态满足下述方程：

$$\dot{x}_i(t) = -p_i(t) + u_i(t) \quad i \in [1,2,\cdots,k] \tag{5-3}$$

作为服务主体 i，无法改变 $p_i(t)$，但可以控制 $u_i(t)$。设服务主体 i 提供的服务每单位为 a 元，建设服务资源为

每单位 b 元，维护服务资源为每单位 c 元，$h[x_i(T)]$表示为主体对 T 时刻的终点收益，计算出主体 i 在结束时间的潜在净收益值。则在时间区间$[t_0, T]$中主体 i 的实际收益为：

$$\int_{t_0}^{T}(ap_i(t)-bu_i(t)-cx_i(t))\mathrm{d}t+h[x_i(T)] \tag{5-4}$$

5.4 多服务主体收益分配的动态优化策略

5.4.1 多服务主体收益分配中的马尔可夫完美均衡

在多服务主体收益分配过程中，每个服务主体在熟人网络内其他服务主体的状态基础上确定自己的最优状态。也就是说，每个服务主体的状态都受到熟人网络中其他服务主体状态的影响。这种控制和决策行为正是博弈论要研究的问题，其结果是一个马尔可夫完美均衡：服务主体将来的状态与过去的状态无关，只依赖现在的状态。同时，每个服务主体以各自预期利润的最大化为目标，这个服务主体的策略是纳什均衡，其策略函数满足马尔可夫性质。

从时间 t 到 $t+\Delta t$，其中，Δt 是很小的时间增量，收益函数从 $v(x,t)$变到 $v(x+\Delta x, t+\Delta t)$。根据动态规划的最优性原理，服务主体的目标函数的变化由两部分组成：第一部

分是时间从 t 到 $t+\Delta t$ 的变化引起的增值变化，这个变化量在式(5-1)中表示为 $g^i[x_i(t),u_i(t)]$从 t 到 $t+\Delta t$ 的积分值；第二部分是收益函数在时间 $t+\Delta t$ 的值 $v(x+\Delta x,t+\Delta t)$。多服务主体收益优化问题是在一定状态进展变化下，尽可能使这两部分之和取最大值。用方程式表示为：

$$v(x,t)=\max\{\sum_{i\in K}\int_t^{t+\Delta t}g^i[x_i(t),u_i(t)]\mathrm{d}t+ v[x(t+\Delta t),t+\Delta t]\}+ \sum_{i\in K}h[x_i(\Delta t)] \tag{5-5}$$

其中，Δt 表示时间 t 的一个微小增量。

由于 g 是连续的，因此式(5-5)中的积分近似于 $g^i[x_i(t),u_i(t)]\Delta t$，从而有

$$v(x,t)=\max\{\sum_{i\in K}g^i[x_i(t),u_i(t)]\Delta t+ v[x(t+\Delta t),t+\Delta t]\}+ \sum_{i\in K}h[x_i(\Delta t)] \tag{5-6}$$

假定收益函数 v 关于自变量是连续可微函数，于是可将 v 展开成泰勒级数，即

$$v[x(t+\Delta t),t+\Delta t]=v(x,t)+[v_x(x,t)\dot{x}_i(t)+ v_i(x,t)\Delta t] \tag{5-7}$$

其中，$v_x(x,t)$和 $v_i(x,t)$是 $v(x,t)$分别关于 x 和 t 的偏导数。