

基于压缩感知的异构网络数据动态重构算法

陆兴华*, 黄浩瀚, 邱纪涛, 孙宜帆
(广东工业大学华立学院, 广东 广州 511325)

摘要:针对异构网络数据资源存在节点及链路均衡度过低且数据重构资源分配路径误差较大的问题,设计一种基于节点拓扑感知的异构网络数据动态重构算法。利用模糊核聚类算法将数据样本集映射至高维空间内,聚类目标数据,根据节点在网络中对应的坐标构建异构网络拓扑模型及数据权重矩阵模型;设置路由器物理链路通信图,根据链路带宽约束优化数据重构资源的分配路径,将节点核心区数据重构,并分配至聚类节点来感知数据的动态变化,为每一个核心聚类节点拓扑感知一个路由器数据的动态变化,来实现全局的数据动态重构,至此完成基于节点拓扑感知的异构网络数据动态重构算法的设计。设计仿真实验,测试算法的节点均衡度与链路均衡度。实验结果表明,设计的算法的节点均衡度为0.93,链路均衡度为0.90,均高于对比方法,因此可以得出,该算法的资源均衡度更好。

关键词:节点拓扑感知;异构网络;数据动态重构算法;聚类节点;网络拓扑模型;带宽约束

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2021)03-0133-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2021.03.023

Dynamic Reconstruction Algorithm of Heterogeneous Network Data Based on Compressed Awareness

LU Xing-hua*, HUANG Hao-han, QIU Ji-tao, SUN Yi-fan
(Huali College Guangdong University of Technology, Guangzhou 511325, China)

Abstract: In order to solve the problem of low node and link equalization in heterogeneous network data resources and large error in the distribution path of data reconstruction resources, a dynamic data reconstruction algorithm based on node topology perception is designed. The fuzzy kernel clustering algorithm is used to map the data sample set to the high-dimensional space, cluster the target data and construct the heterogeneous network topology model and data weight matrix model according to the corresponding coordinates of nodes in the network. The router physical link communication diagram is set. According to the link bandwidth constrained optimization path data, the resources distribution path and the joint core data are reconstructed and assigned to the cluster nodes to perceive the dynamic change of the data, and the dynamic change of the router data is perceived for each core cluster node topology, so as to realize the global dynamic data reconstruction. Thus, the design of the heterogeneous network data dynamic reconstruction algorithm based on the node topology awareness is completed. The simulation experiment is designed to test the node equilibrium degree and link equilibrium degree of the algorithm. The experiment shows that the node equilibrium degree of the designed algorithm is 0.93 and the link equilibrium degree is 0.90, both of which are higher than the comparison method. Therefore, it can be concluded that the resource equilibrium degree of the designed algorithm is better.

Key words: node topology perception; heterogeneous network; data dynamic reconstruction algorithm; cluster node; network topology model; bandwidth constraints

0 引言

当下网络应用规模不断扩大,现有的以节点为核心的网络架构已经在超负荷运作,异构网络应运而生。所谓异构网络,是由不同制造商生产的计算机、网络设备和系统组成的^[1],在大部分情况下运行在不同的协

议上支持不同的功能或应用。异构网络通过为用户提供网络数据,实现对数据可动态重构和扩展物理网络的共享^[2]。

文献[3]提出了基于一对多匹配算法的异构网络数据重构方法。在D2D高密度部署场景下,同时使多

收稿日期:2020-03-16

修回日期:2020-07-17

基金项目:2020年广东省科技创新战略专项资金立项项目(pdjh2020b0777)

作者简介:陆兴华(1981-),男,硕士,副教授,通讯作者,CCF会员(56467M),研究方向为嵌入式技术、无人机飞行稳定性控制方法、机器人运动控制方法。

个用户采用相同的蜂窝资源,完成数据重构;文献[4]提出基于直觉模糊时间序列的网络数据动态重构算法,根据 IFCM 平衡节点资源,根据节点反馈完成数据调度,据此完成网络数据动态重构。以上方法在数据动态重构过程中,异构网络资源的均衡度较低,数据重构算法有待优化。

针对现有的异构网络数据动态重构算法存在的问题,设计一种基于节点拓扑感知的异构网络数据动态重构算法。在时间复杂度内计算出节点位置和权重,建立异构网络数据的目标矩阵模型,得到阶矩阵与权重矩阵,进而划分出具体的节点核心区,设置路由器物理链路的带宽约束优化数据重构资源的分配路径,将节点核心区划分为聚类节点来感知数据的动态变化,实现数据的动态重构。

1 基于节点拓扑感知的异构网络数据动态重构算法研究

异构网络是将网络拓扑与资源状态等条件优化考虑,提供资源服务的承载网络,其中,可重构数据可通过动态重构实现资源共享,其重构网络示意图如图 1 所示。

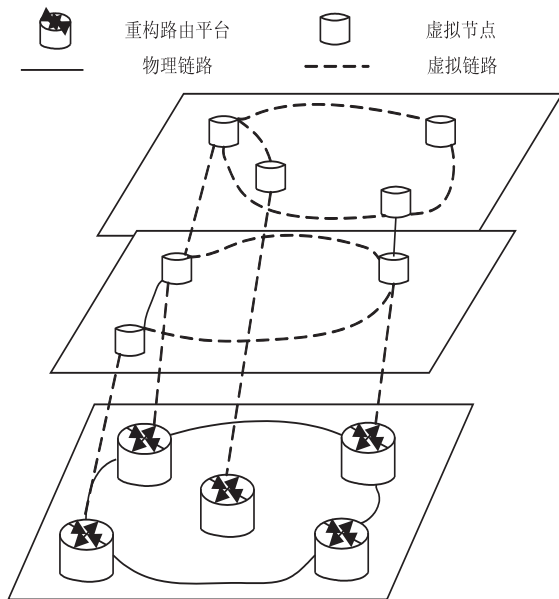


图 1 重构网络示意图

如图 1 所示,数据通过节点和链路实现动态重构,实现资源均衡,然而重构网络资源的均衡度过低。其主要原因一是没有完善的异构网络数据的目标矩阵模型,二是对于资源分配路径没有动态优化措施。因此针对这两个问题,重新设计基于节点拓扑感知的异构网络数据动态重构算法。

1.1 数据目标聚类

通过模糊核聚类算法利用非线性变化将待挖掘数据样本集映射至高维空间内,在高维空间内聚类目标

数据,模糊核函数聚类目标函数公式如下:

$$G = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |T(x_k) - Y(x_i)| \quad (1)$$

其中, n 表示数据目标分类数量,且满足 $n \geq 2$; $T(x_k)$ 与 $Y(x_i)$ 分别表示样本集合的聚类中心以及非线性变换函数。

令目标函数 G 最小值的聚类准则对样本集合的聚类中心元素 x_k 以及非线性变换函数元素 x_i 的偏导数为零,可得公式如下:

$$\frac{\partial G}{\partial x_k} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial G}{\partial x_i} = 0 \quad (3)$$

选取符合 Mercer 条件的高斯核函数作为以上公式的核函数,具体公式为:

$$K(x_k, x_i) = \exp\left(-\frac{\|x_k - x_i\|^2}{2\delta^2}\right) \quad (4)$$

其中, δ 表示数据多尺度参数。式(4)也可表示为:

$$\Gamma(x_k) - \Gamma(x_i) = K(x_k, x_i) \quad (5)$$

将核函数 $K(x_k, x_i) = \langle \Gamma(x_k), \Gamma(x_i) \rangle$ 与目标函数相结合,可得:

$$K(x_k, x_i) = \frac{\sum_{x=1}^n \sum_{k=1}^n K(x_k, x_i)}{A_{\text{new}} - A_{\text{old}}} \quad (6)$$

其中, A_{new} 与 A_{old} 分别表示矩阵更新后与更新前。当 $\|A_{\text{new}} - A_{\text{old}}\| < \delta$ 时,停止迭代计算,通过以上步骤获取样本集合的聚类中心元素 x_k 以及非线性变换函数元素 x_i ,当 $\|A_{\text{new}} - A_{\text{old}}\| \geq \delta$ 时,转换至式(6)更新隶属度矩阵重新计算,其中 $\delta > 0$ 为迭代截止误差值。

通过以上步骤将异构网络的目标数据映射至高维空间,并利用符合 Mercer 条件的高斯核函数实现目标数据的有效聚类。

1.2 构建异构网络数据的目标矩阵模型

为构建异构网络数据的目标矩阵,首先要将基础物理网络拓扑抽象成数学表达式:

$$G^s = (N^s, L^s, C^s) \quad (7)$$

式中, N^s 表示基础网络中的节点集合, L^s 表示基础网络中的链路集合, C^s 表示基础网络的资源提供能力,主要包括节点资源与链路资源,节点资源主要包括内存与 CPU 性能,链路资源主要包括链路带宽^[5]。在通常情况下,整个网络的布局规划中,能够在时间复杂度内计算出每个节点在网络中的坐标位置,如表 1 所示。

在表 1 中,节点的 x 坐标为节点到固定边框左边界距离,这时所有节点的权重为节点的宽度,节点的 y 坐标为节点到固定边框下边界的距离,节点的权重为节点的高度^[6-7]。在得到各个节点坐标后,能够建立异构网络拓扑模型,如图 2 所示。

表1 节点在网络中所对应的坐标

节点	WLCS (P_{head}, M_{head})	x 坐标	WLCS (P_{tail}, M_{head})	y 坐标
节点1	(3)	2	(5)或(6)	2
节点2	(3 1)	4	(5)或(6)	2
节点3	NULL	0	(6)	2
节点4	NULL	0	(6 3)	4
节点5	(6)	5	NULL	0
节点n	NULL	0	NULL	0

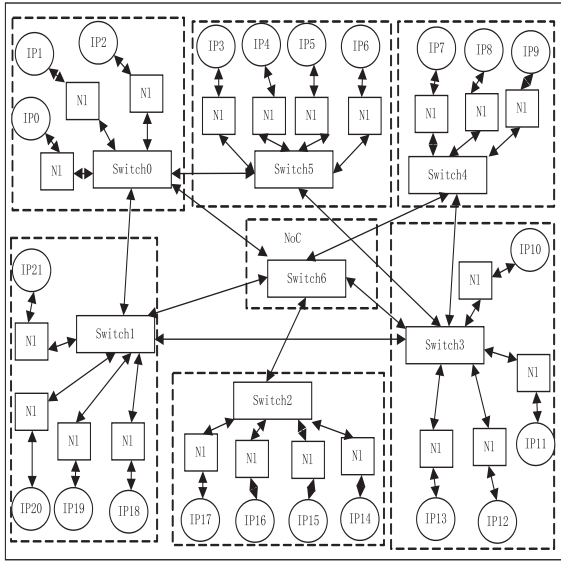


图2 异构网络拓扑模型

在构建的模型中,要确定聚类节点的数目,也就是路由器的数目,这影响异构网络的路由器数量和路由器之间的通信需求,对拓扑结构也有一定的影响。在构建的异构网络拓扑模型中,其连接信息可以用权矩阵来表达^[8],权矩阵本质上是一个包含节点之间连接权重的二维矩阵,其元素的生成方式如下式所示:

$$a_{ij} = \begin{cases} w_{ij} & x_{ij} \in S \\ 0 & i = j \\ \infty & x_{ij} \notin S \end{cases} \quad (8)$$

在构建的网络模型中,构造出 $M \times M$ 的阶矩阵 $A = (a_{ij})$,其中节点 i 和节点 j 之间如果相连,对应的系数为1,否则,对应系数为0,即相同节点之间的对角线系数为0^[9]。

上述简易6节点异构网络图中的数据权矩阵模型可以表示为:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0.5 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 0.5 & 0 & 1.5 & \infty & 0.2 & \infty \\ \infty & 1.5 & 0 & 0.8 & \infty & 0.3 \\ \infty & \infty & 0.8 & 0 & \infty & \infty \\ \infty & 0.2 & \infty & 0 & 0 & 0.4 \\ \infty & \infty & 0.3 & \infty & 0.4 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

至此完成了异构网络数据目标矩阵模型的构建。

1.3 数据重构资源的分配路径优化

在上文构建的异构网络数据目标矩阵模型中,包含着一定数量的节点和布图规划,节点之间的数据重构资源的通信流分配路径的优化成为设计的关键问题。数据重构资源通信流的路径分配结果决定着异构网络的资源均衡度^[10],为了确保链路带宽的负载平衡,在路径分配过程中可以通过设置路由器物理链路的带宽约束来实现。路由器顶点 $s_i \in S$,其资源通信量大小的关系表达式为:

$$ws_{s_i, s_j} = \sum_{\forall c_i \in clu_1, \forall c_j \in clu_2} \omega_{c_i, c_j} \quad (10)$$

s_i, s_j 均代表路由器节点,负责与矩阵模型中的节点进行数据重构的资源分配^[11],节点之间的分配路径如图3所示。

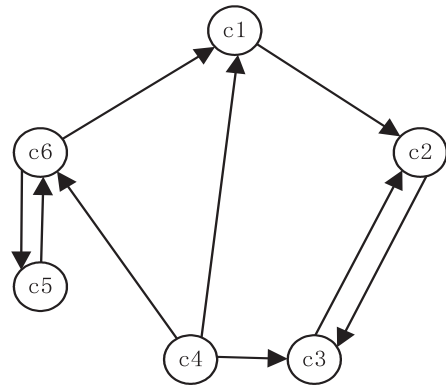


图3 节点核心区数据重构分配路径

从图3可以得知,6个节点核心区之间的资源数据流只需要通过总线进行通信。至此完成了数据重构资源分配路径的优化。

1.4 利用节点拓扑感知实现数据的动态重构

在上述优化过的分配路径中,为了实现数据的动态重构,需要将节点核心区通过特定的聚类方式划分为3个聚类节点,即 clu_1 、 clu_2 和 clu_3 ,为每一个节点核心聚类节点拓扑感知一个路由器数据的动态变化,来实现全局的数据动态重构^[12-13]。聚类节点的详细划分如图4所示。

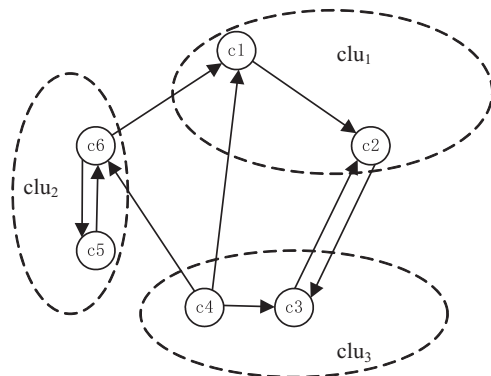


图4 节点聚类

通过上述的节点聚类划分,能够完成全局范围的动态配置,在资源感知和数据重构阶段串行进行交替,减少资源的空闲时间,其公式化定义如下所示:

$$f_{cap}^k(i,j) = f_{cap}(i,j) - \sum_{q=1}^{k-1} x_{i,j}^q \cdot f_{\omega_s}^q \quad (11)$$

其中, $f_{cap}(i,j)$ 表示任意两个异构网络数据之间的重构阶段,对于一些约束条件的限制问题,可以通过拉格朗日乘子吸收到目标路径中,减少了一些约束条件,转化为拉格朗日乘子问题。至此完成了基于节点拓扑感知的异构网络数据动态重构算法的设计^[14-16]。

2 仿真实验

为验证文中设计算法的有效性,设计仿真实验。并采用文献[3]方法和文献[4]方法为实验对照组,对3种算法的资源均衡度进行讨论。实验选取不同方法的节点均衡度以及链路均衡度作为测试指标,指标的计算方法在下文给出,具体实验结果如下:

2.1 实验设置

算法的资源均衡度主要包括两个方面,一是节点均衡度,另一个是链路均衡度。为了使实验结果更加具有说服力,需要将两种算法的节点均衡度与链路均衡度分别进行比较。本实验采用 OPNET Technology 公司的 OPNET Modeler 平台进行仿真,它能够提供三层建模机制,基本模型库也相对齐全,提供了和网管系统、流量监测系统的接口,能够方便地利用现有的拓扑和流量数据建立仿真模型,同时还可对仿真结果进行验证。仿真网络中的实验测试用例以及参数如表 2 所示。

表 2 实验测试用例以及参数设置

计算应用中构建请求数目	顶点数目	边的数目	任务所需的资源列数与行数取值范围
10	10	23	(10,60)
20	20	43	(20,76)
30	30	56	(20,89)
40	40	73	(20,167)
50	50	91	(20,198)
60	60	126	(30,206)
70	70	180	(30,266)
80	80	206	(30,293)

在本实验的网络架构中,总的配置比特流长度为 148 561 285 bits,当采用最大带宽的配置模式,能够计算出配置时间,并取 10 次独立运行的平均值,进而计算出异构网络中的节点均衡度和链路均衡度。

2.2 节点均衡度实验结果与分析

在构建异构网络时,整个底层网络上所用节点的平均处理能力与最大处理能力之比,为节点均衡度,其

计算方程式为:

$$D_N = \frac{\sum_1^N N_{c_i}}{N_c^{\max}} \quad (12)$$

式中, N 为节点数, N_{c_i} 为单个节点的处理能力, N_c^{\max} 为最大处理能力。实验中随着异构网络构建数量的增加,计算并统计出 3 种算法的节点均衡度情况,如图 5 所示。

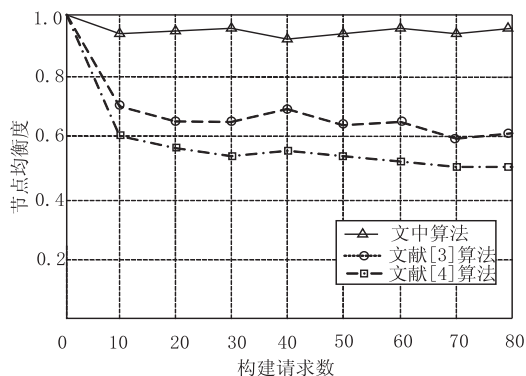


图 5 节点均衡度对比结果

从节点均衡度的对比结果可以看出,随着构建请求数量的增多,两种算法的节点均衡度都有所变化。在构建请求总数为 80 次的实验中,文献[3]算法的节点均衡度平均值为 0.68,文献[4]算法的节点均衡度平均值为 0.52,文中算法的节点均衡度的平均值为 0.93。根据上述实验结果可以得出,文中算法的节点均衡度高于传统算法。

2.3 链路均衡度实验结果与分析

整个底层网络上所用链路的平均利用率与最大链路利用率之比,为链路均衡度,其计算方程式为:

$$D_L = \frac{\sum_{j=1}^M L_j}{L^{\max}} \quad (13)$$

式中, M 为链路总数, L_j 为单条链路的平均利用率, L^{\max} 为最大链路利用率。实验中随着异构网络构建数量的增加,计算并统计出 3 种算法的链路均衡度情况,如图 6 所示。

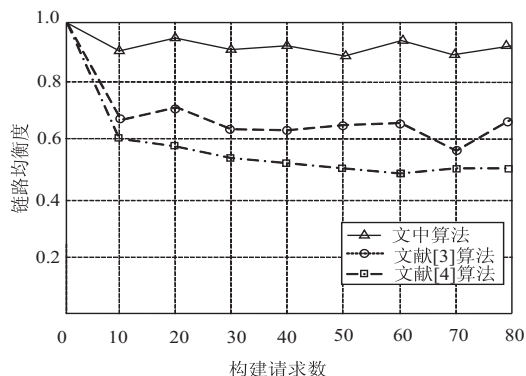


图 6 链路均衡度对比结果

从链路均衡度的对比结果可以看出,随着构建请求数量的增多,两种算法的链路均衡度都有所变化。在构建请求总数为80次的实验中,文献[3]算法的链路均衡度的平均值为0.65,文献[4]算法的链路均衡度的平均值为0.55,文中算法的链路均衡度的平均值为0.90,由此能够得出,文中算法的链路均衡度高于传统算法。

2.4 不同算法的数据重构资源分配路径精度测试

为进一步验证所提算法的应用有效性,以数据重构资源分配路径作为实验指标,对比不同算法的性能测试结果。数据重构资源分配路径的精度越高,说明资源分配的越精准,算法的数据重构效果越好。具体实验结果如图7所示。

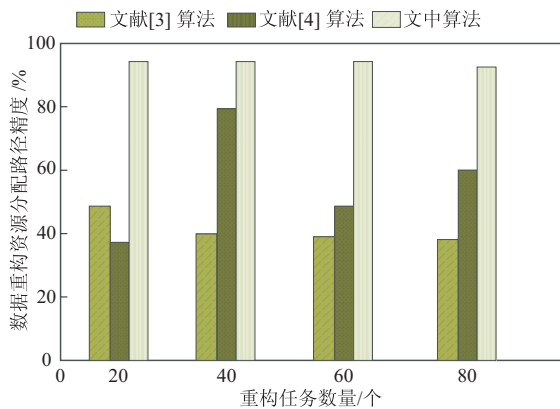


图7 不同算法的数据重构资源分配路径精度

根据图7的实验结果可知,所提算法下数据重构资源的分配路径精度更高,平均精度水平在95%以上。而另外两种算法的资源分配精度测试结果并不理想,说明传统方法无法得以有效应用。

综上所述,通过对三种算法的节点均衡度、链路均衡度以及数据重构资源分配路径精度的比较,实验结果显示所提算法的节点均衡度比传统算法高0.29,所提算法的链路均衡度比传统算法高0.32,且该算法的数据重构资源分配路径精度更高,因此可以得出结论,文中算法的数据重构效果优于传统算法。

3 结束语

高效地利用异构网络数据资源,使资源均衡度最大化,是数据动态重构算法的主要目标。通过聚类目标数据,建立异构网络拓扑模型和优化资源分配路径,对基于节点拓扑感知的异构网络数据动态重构算法进行设计,实验结果表明,设计的算法节点均衡度高于对比算法,链路均衡度同样高于对比算法,因此可以得

出,设计的算法的资源均衡度更优。

参考文献:

- [1] 邓晓懿,杨阳,金淳.基于网络拓扑结构的重要节点发现算法[J].运筹与管理,2019,28(7):91-99.
- [2] 秦宁宁,金磊,许健,等.邻近信息约束下的随机异构无线传感器网络节点调度算法[J].电子与信息学报,2019,41(10):2310-2317.
- [3] 袁泉,赵瑞雪,颜飙.分层异构网中基于一对多匹配的资源分配算法[J].计算机工程与设计,2019,40(2):341-345.
- [4] 任神河,郑寇全,关冬冬,等.基于IFTS的云计算网络动态负载均衡方法[J].系统工程理论与实践,2019,39(5):1298-1307.
- [5] 汪志兵,韩文民,孙竹梅,等.基于网络拓扑结构与节点属性特征融合的科研合作预测研究[J].情报理论与实践,2019,42(8):116-120.
- [6] 苏玉泽,孟相如,孟庆微,等.环境自适应的拓扑联合感知虚拟网映射算法[J].电子与信息学报,2018,40(1):79-86.
- [7] 苏玉泽,孟相如,赵志远,等.节点可靠感知的高效虚拟网络映射算法研究[J].工程科学与技术,2018,50(2):126-132.
- [8] 冯慧芳,柏凤山,徐有基.基于轨迹大数据的城市交通感知和路网关键节点识别[J].交通运输系统工程与信息,2018,18(3):42-47.
- [9] 李振坤,路群,符杨,等.有源配电网动态重构的状态分裂多目标动态规划算法[J].中国电机工程学报,2019,39(17):5025-5036.
- [10] 常傲,韩立国,于江龙,等.基于LDPC矩阵采样方法的三维地震数据重构[J].世界地质,2018,37(2):636-645.
- [11] 杜海莲,苗诗瑜,杜文霞,等.改进主元分析方法及数据重构在工业系统中的故障诊断研究[J].南京理工大学学报:自然科学版,2019,43(1):72-77.
- [12] 陈华伟,伍权,徐卫平,等.基于Laplace调和方程的网格重构算法[J].河北科技大学学报,2019,40(3):199-207.
- [13] 宋剑文,白勇,胡祝华,等.压缩感知联合多属性关联的数据恢复算法[J].计算机工程,2018,44(4):103-107.
- [14] 崔维嘉,张鹏,巴斌.基于贝叶斯自动相关性确定的稀疏重构正交频分复用信号时延估计算法[J].电子与信息学报,2019,41(10):2318-2324.
- [15] 傅俊英,彭喆,郑佳,等.基于专利异构网络的中小企业潜在合作伙伴研究——以石墨烯领域为例[J].情报学报,2019,38(4):391-401.
- [16] 张燕,杜红乐.基于异构距离的集成分类算法研究[J].智能系统学报,2019,14(4):733-742.