

青海湖鸟类迁徙的数据挖掘系统设计与实现^①

Design and Implementation of a Data Mining System for Qinghai Lake Bird Migration

张海亭^{1,2} 唐明洁^{1,2} 周园春¹ 崔鹏^{2,3} 侯元生⁴ 阎保平¹

(1.中国科学院 计算机网络信息中心 北京 100190; 2.中国科学院 研究生院 北京 100049; 3.中国科学院 动物研究所 北京 100101; 4.青海湖国家级自然保护区管理局 青海 西宁 810003)

摘要: 随着卫星跟踪技术在鸟类迁徙研究中的逐渐应用,传统的通过手工数据分析得到鸟类迁徙规律的方法已无法适应大规模迁徙数据分析的趋势。将数据挖掘算法应用到鸟类卫星跟踪数据的分析处理中,根据鸟类迁徙的特点,提出基于层次聚类的 DBSCAN 算法,并应用到青海湖鸟类迁徙数据分析中,得到鸟类迁徙过程中的栖息地信息,最后以此为基础设计和实现了面向青海湖鸟类迁徙的数据挖掘系统。通过这套数据挖掘系统,分析和研究候鸟的迁徙路线和途经地,不但对保护候鸟资源有重要的价值,同时对预防鸟类携带疾病的传播提供科学依据。

关键词: 青海湖 鸟类 迁徙 卫星跟踪 数据挖掘 DBSCAN

1 引言

从 20 世纪 80 年代末期开始,人们就开始尝试利用卫星跟踪技术对候鸟的迁徙进行研究,与传统的环志标记法及雷达跟踪法相比,卫星跟踪技术具有跟踪范围广,时间长,可以准确地得到跟踪对象的迁徙时间、地点及迁徙路径等优点。保护全球候鸟最紧迫的任务是明确鸟类在繁殖地、中转站、越冬地的生态需求^[1]。了解候鸟的迁徙时间、路线、迁徙途经地等信息,不但对保护候鸟资源有重要的价值,同时也可为防止鸟撞和预防鸟类携带疾病的传播^[2]提供科学依据。2007 年,为了更好的保护青海湖周边的鸟类和其他生态资源,由中国科学院计算机网络信息中心牵头,与青海湖自然保护区,中科院动物所,微生物所,病毒所,遥感所和西北高原生物研究所,以及美国地质勘探局等科研机构合作,联合开展了对青海湖鸟类卫星追踪的科研项目。

伴随着鸟类跟踪数据的不断积累,科研人员需要

从这些积累的数据中找到需要的迁徙、活动范围以及栖息地利用等信息,但是由于数据量巨大(截止到 2009 年 2 月,累计达到了 10 万余条数据),而传统意义上的鸟类跟踪数据分析,即仅仅凭借生物学家在地理信息系统(Geographical Information System,缩写为 GIS)中,描点和手工统计空间位置点的数目,以得到鸟类的栖息地和迁徙路线的方法,已经无法适应大量跟踪数据的分析。

本文将数据挖掘算法应用到鸟类卫星跟踪数据的分析处理中,利用数据挖掘的从大量数据中抽取隐含的、以前未知的、具有潜在应用价值的模型或规则等有用知识的特点,得到鸟类迁徙过程中的栖息地信息,设计和实现了一套面向青海湖鸟类迁徙的可视化的数据挖掘系统。

2 系统的总体架构

对于卫星获取的鸟类迁徙跟踪数据,首先对其进行预处理,包括对数据的清洗以及归一化工作,进而

^① 基金项目:中国科学院知识创新工程青年人才领域项目资助(O814041108);“十一五”中国科学院信息化专项项目(INFO-115-D02)

收稿时间:2009-03-05

将相关的数据按照候鸟的种群不同以及传感器的类型不同，分类存储在关系型数据库中；之后对鸟类的迁徙数据使用聚类算法进行数据挖掘，得到鸟类迁徙过程中停留时间比较长的栖息地信息；对聚类得到的结果，我们使用凸包算法和多边形面积算法等方法，获取鸟类迁徙过程中的栖息地信息；之后我们将这些区域在 Web GIS 平台 Google Maps 上进行可视化展现。

整个系统的处理过程如图 1：

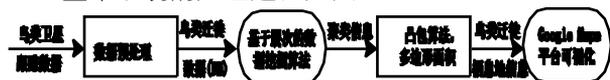


图 1 系统处理过程

3 鸟类迁徙数据挖掘系统

3.1 鸟类迁徙数据的采集与预处理

青海湖候鸟的卫星跟踪采用的是 Argos 系统^[3]。其主要由数据发射平台、卫星上的 DCS(数据采集系统)有效载荷、地面接收处理站和数据处理中心三个部分组成。由于 Argos 系统使用的是低轨道的极轨卫星，因此该系统的信息采集平台可以分布在包括南、北极在内的全球范围。每个数据采集平台(Platform Transmitter Terminal, 一般称作 PTT)可以安装多个传感器，它们负责采集用户关心的温度、位置等数据。采集后的数据经过平台中发射单元调制后被发送到卫星上。卫星接收到这些数据后对其进行实时或存储转发后将数据转发给 Argos 系统的地面接收站。由地面接收站对数据进行解调和处理，再将数据通过网络、磁盘和打印等多种方式分发给用户。在跟踪候鸟迁徙时，我们将 Argos 系统的信息采集平台安装在候鸟身上，利用计算多普勒频移或在数据采集平台上安装 GPS 接收机，从而对候鸟进行定位，进而得到候鸟的移动轨迹。图 2 为使用 Argos 卫星和 GPS 定位的方法获取被跟踪对象的地理坐标的工作流程^[4]。

目前青海湖候鸟的跟踪定位同时使用了上面两种定位的方法。目前对青海湖鸟类的跟踪的总数为 57 只，其中班头雁 29 只，携带了 45g 的加强型 PTT，其中包含了 GPS 接收机，所以可以同时通过 Argos 卫星和 GPS 接收机进行定位；同样采用两种方法定位的是 16 只赤麻鸭，携带的是 30g 的 PTT。另外还有鱼鸥 10 只，针尾鸭 1 只和棕头鸥 1 只携带的是 18g 的 Northstar PTT，只通过 Argos 卫星进行定位。



图 2 使用 Argos 卫星和 GPS 定位的方法获取被跟踪对象的地理坐标的工作流程

目前，鸟类的监测卫星数据，先由地面接收站将接收到的 Argos 卫星的 DIAG 数据^[3]进行初步处理发送到美国地质勘探局，经过研究人员的一次处理之后，再将数据发送给中科院计算机网络信息中心。结合 Argos 卫星的数据标准以及地理信息学中的相关知识，我们对数据进行了进一步的处理，并把数据存入关系数据库(MySQL)中。图 3 和表 1 分别是符合 Argos 卫星的 DIAG 数据格式的一条记录的示意图，和经过处理之后存储在关系数据库中的两条 2007 年 8 月份的鸟类迁徙的地理信息数据记录。

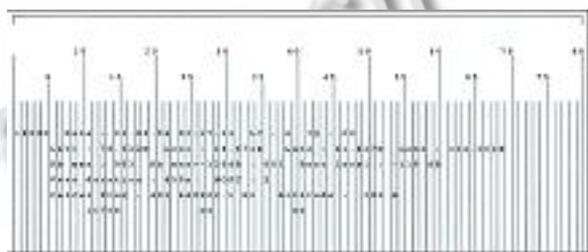


图 3 Argos 卫星的 DIAG 数据格式的一条记录

表 1 预处理后存储在数据库中的信息

Animal	Record_id	Datetime	Latitude	Longitude	Lc94
BH07_67586	Latest Argos Locs	2007-08-23 06:44:40	34.75200	98.18300	L1
	Latest GPS Locs	2007-08-23 09:00:00	34.75830	98.15730	LG

整理过后的数据记录主要包括以下几个主要字段。其中 Animal 字段表示被跟踪鸟类的唯一编号，

Record_id 表示数据获取的类型,用于区分不同跟踪设备的不同的获取地理信息的方法,**Datetime** 字段表示所获取到数据的时间,**Latitude** 和 **Longitude** 字段表示经度和纬度,**Lc94** 字段用来标记数据的卫星位置等级,对于使用 **GPS** 进行定位的数据的级别为 **LG**,使用 **Argos** 系统进行定位的数据等级分为 7 个级别,按照准确度增加的顺序分别是: **Z**、**B**、**A**、**0**、**1**、**2** 和 **3**,标记为 **LZ**, **LB**, **LA**, **L0**, **L1**, **L2** 和 **L3**。按照鸟类迁徙研究中对精度的要求,在我们的数据挖掘过程中使用数据为 **LG**, **L1** ~ **L3** 这四种精度的数据^[5]。

由于卫星返回数据会重复性记录在过去 24 小时, 48 小时等重复数据,在数据的预处理过程中还包括数据的去重工作。另外对于不同 **PTT** 平台可能采用不同的时区的时间,在本系统中,所有数据均转换为东八区时间。

3.2 鸟类迁徙数据挖掘算法

鸟类迁徙中一项重要的研究基础是发现鸟类迁徙过程中的栖息地信息。鸟类的栖息地分为繁殖地、中途停歇地和越冬地,其中繁殖地是鸟类繁殖的栖息地,越冬地是指鸟类度过冬季的栖息地,而中途停歇地是联系迁徙鸟类的繁殖地和越冬地之间的枢纽。传统上中途停歇地可以分为两类:(1)能量补充地,每年的迁徙季节鸟类在此都停歇较长的时间;(2)临时停歇地,此类停歇地鸟类停留时间较短,一般供鸟类临时休息。在鸟类迁徙过程中的这些栖息地,鸟类的活动比较频繁,留下来相对其他地方更多的跟踪数据记录,形成了一个相对密集的活动范围。数据挖掘中的聚类算法有着相似的思想。聚类分析(**Clustering**)能够把一组数据(对象)分成多个组,每一组称作一个簇(**Cluster**)。一个 **Cluster** 是一组对象的集合,每组对象彼此之间相似,可以作为一组对待。聚类算法中比较常见的算法有基于划分的 **K-Means** 算法, **CLARANS** 算法等,基于密度的 **DBSCAN** 算法, **OPTICS** 算法等。

为了选择合适的聚类数据挖掘算法,要充分考虑到鸟类跟踪地理信息数据的特点。鸟类跟踪的数据主要包括经度,纬度,获取地理坐标的精度,以及获取地理坐标的时间。其中地理坐标数据是在地理坐标系下的二维数据,鸟类的活动区域是不规则的形状,并且会有大量的迁徙路径上停留时间很短的“孤立点”数据,基于以上的考虑我们选择使用基于密度的、受

孤立点数据影响较小的 **DBSCAN** 算法进行改进应用于当前系统中。

3.2.1 DBSCAN 算法

DBSCAN 算法^[6]是一个基于密度的聚类算法。该算法能够将具有足够高密度的区域划分为簇,并可以在带有“噪声”的空间数据库中发现任意形状的聚类。它定义簇为密度相连的点的最大集合。整个算法思想基于下面这一组定义:

定义 1(ϵ 邻域).给定对象 p 半径 ϵ 内的区域为该对象的 ϵ -邻域,记作 $N_{\epsilon}(p)$ 。

定义 2(核心对象).如果一个对象的 ϵ -邻域至少包含最小数目 $MinPts$ 个对象,则称该对象为核心对象。

定义 3(直接密度可达).给定一个对象集合 D ,如果 p 是在 ϵ 的邻域内,则 q 是一个核心对象,我们说对象 p 从对象 q 出发时直接可达的。

定义 4(密度可达).如果存在一个对象链 $p_1, p_2, \dots, p_n, p_1 = q, p_n = p$,对 $p_i \in D, (1 \leq i \leq n), p_{i+1}$ 是从 p_i 关于 ϵ 和 $MinPts$ 直接密度可达的,则对象 p 关于 ϵ 和 $MinPts$ 密度可达的。

定义 5(密度相连).如果对象集合 D 中存在一个对象 O ,使得对象 p 和 q 是从关于 ϵ 和 $MinPts$ 密度可达的,那么对象 p 和 q 是关于 ϵ 和 $MinPts$ 密度相连的。

也就是密度可达是直接密度可达的传递闭包,这种关系是非对称的。只有核心对象之间是互相密度可达的。然而,密度相连性是一个对称的关系。一个基于密度的簇是基于密度可达性的最大密度相连对象的集合。不包含在任何簇中的对象被认为是“噪声”。**DBSCAN** 算法的执行过程采用迭代查找的方法,通过迭代地查找所有直接密度可达的对象,找到各个簇包含的所有密度可达对象。当没有新的点可以被添加到任何簇中,该过程结束。

DBSCAN 算法有 2 个主要的缺点:(1)对用户定义参数 ϵ 是敏感的,需要通过实验方法或经验找到比较合理的参数。(2)另外难以发现密度相差较大的簇。决定密度阈值的参数 ϵ 和 $MinPts$ 是全局唯一的,只能找到密度相近的簇。

对预处理结束得到的鸟类的迁徙数据,使用 **DBSCAN** 算法进行分析,得到鸟类在迁徙过程中的停留时间较长,活动范围较集中的区域。

3.2.2 地理公式及参数的确定

在计算某个数据对象的 ϵ 邻域 $N_{\epsilon}(p)$ 时,需要计

算两个对象之间距离。由于地理信息数据反映的为地理坐标系下的经度和纬度，通过地理计算公式求地球上两点之间的距离 D ，公式为：

$$a = \sin^2(\Delta lat / 2) + \cos(lat_1) \cdot \cos(lat_2) \sin^2(\Delta long / 2)$$

$$D = R \cdot \arctan^2(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \quad (1)$$

其中， Δlat 为纬度的差， $\Delta long$ 为经度的差， R 为地球半径，我们这里取地球的极半径和赤道半径的平均值 6371km。

在鸟类迁徙的研究中，通常把鸟类停留时间较长的地点作为鸟类的越冬地，而停留时间较短的地点作为鸟类的中途停歇地。对于这两种地点的发现都可以运用聚类算法来确定区域，因为二者都会造成多个种群的鸟类在一个地点的频繁出现。对于 DBSCAN 算法中参数的确定，其中 $MinPts$ 参数考虑到鸟类迁徙过程中，停留 2 天以上的点可以作为一个临时停歇地^[7]，而 GPS 鸟类跟踪数据的记录频率为每隔 2 小时记录一次数据，那么我们可以以 2 天的记录数作为 $MinPts$ 的值，在本文中选定为 25。对于参数 ϵ ，DBSCAN 提供了一种可视化的启发性方法辅助参数 ϵ 的确定。DBSCAN 计算每个对象与它的第 k 个最近对象之间的距离 $k-dist$ ，并对库中对象按照 $k-dist$ 由大到小进行排序，随后绘制“排序 $k-dist$ 图”，其中横坐标为排序后的对象，纵坐标为对应的 $k-dist$ 值。用户可以根据排序 $k-dist$ 图确定参数 ϵ 。图 4 是按照 DBSCAN 的启发性方法得到的 25-dist 图（纵轴单位为 km）。

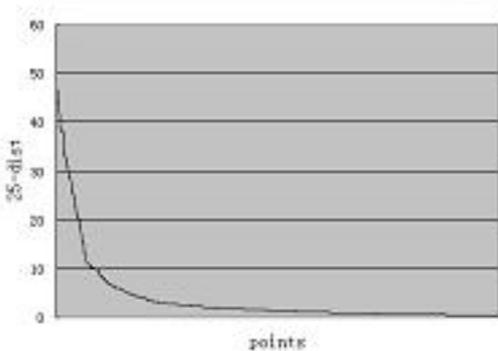


图 4 使用 DBSCAN 启发性方法获得的排序 25-dist 图

在实际系统中，我们针对 DBSCAN 算法对参数 ϵ 敏感的特点，对于整个挖掘采取了不同的 ϵ 参数。当挖掘整个迁徙过程的时候，我们采用了大粒度的较大

的参数，以方便对整个鸟类迁徙的趋势有一个明显的认识；当我们对某个区域进行聚类的时候，我们采用较小的 ϵ 参数，基于这种思想，我们提出了基于层次聚类的 DBSCAN 算法。

3.2.3 基于层次聚类的 DBSCAN 算法

由于鸟类迁徙过程中存在着大的停歇区域和小范围的核心停歇区域，我们提出了层次聚类的方法。也就是先采用较大的粒度对鸟类迁徙过程进行挖掘，得到较大范围的鸟类停歇区域，然后在这种大范围的停歇区域中进一步采用聚类算法，自顶向下的进行层次聚类，得到空间聚类树。图 5 为聚类树的一个示例，对所有的鸟类迁徙数据，我们得到了根节点 Cluster 0，然后获取了最大的粒度的挖掘结果，图示中为 4 个 1 级的聚类，自身编号为 0 到 3。聚类树每个节点的编号由其父亲节点的编号和自身的编号构成，这样就形成了类 Huffman 编码的结构，可以唯一确定每个节点的编号，便于进行数据查询。如图中节点 Cluster 0/1/0/0 的编号“0/1/0/0”由父亲编号“0/1/0”自身编号“0”组合成。

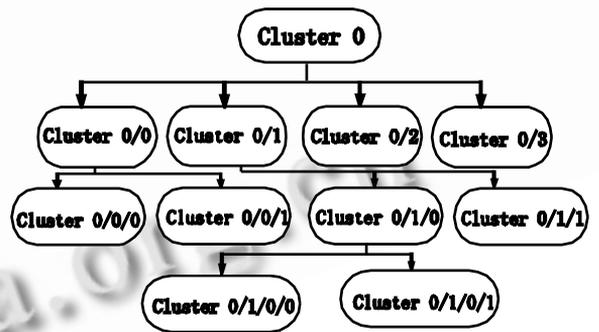


图 5 基于层次空间聚类树模型

算法的执行过程如下：

- ① DBSCAN_ OBJECT Root=Joint(LD,Eps, Minpts);
// root node of Tree
- ② ENQUEUE(Q, Root) ;
// push DBSCAN object into queue
- ③ front:=0, last:=0, Depth =0;
- ④ while(Queue<> empty and front<=last)
DO
- ⑤ DBSCAN_ OBJECT node= DEQueue(Q);
// Pop data from queue head

```

⑥ front++;
⑦ Data_OBJECT Childern =
    DBSCAN.getCluster(node); // Call

```

DBSCAN

```

⑧ if(Depth > Level)
⑨     break;
⑩ For i FROM 1 TO Childern.size DO
⑪     Data child=Childern.get(i);
⑫     DBSCAN_OBJECT Root =
        Joint(child,Eps,Minpts);
⑬     ENQUEUE(Q,DBSCAN_ OBJECT);
⑭ end For
⑮ if(front>last) // members in one level
        // have been searched
⑯     last= Q.size()+front-1;
⑰     Depth ++;
⑱ end if
⑲ end while

```

算法输入为鸟类迁徙空间数据 LD, DBSCAN 算法参数 Minpts, Eps(Eps 为前文中的参数; 聚类树每一层节点对应不同粒度的 Eps), 以及聚类树所希望增长到的层数。算法返回一棵反映鸟类栖息地空间分布的聚类树。在运行算法之前, 我们设置一个先进先出的队列 Q 用于存储聚类树中的所有节点, 同时初始化 front 和 last 两个指针, 用于分别指向聚类树某一层头和尾两个节点。指针大小的变化用标注聚类树的所达到的高度 Depth。

算法首先将 DBSCAN 数据对象(1 行)入队(2 行), 聚类树的每一层节点, 我们将数据对象出队(5 行), 然后调用 DBSCAN 的原有算法^[6]对簇进行标记(7 行), 并且将聚类结果加入队列(11, 12 行)。指针 front 的移动(6 行), 用来标记按层次遍历的进行。当 front>last 指针的时候(15 行), 说明聚类树一层的所有节点已经聚类完成, 将指针指向聚类树下一层的最后一个节点(16 行), 同时聚类树的高度 Depth 增加 1(17 行)。整个聚类过程直到聚类树达到到我们所设定达到的层数为止结束(8 行)。

3.3 鸟类迁徙数据挖掘结果与分析

我们以从 2007 年 3 月到 2008 年 3 月对 14 只斑头雁的跟踪数据为例, 其中包含符合数据精度要求

的记录共 18330 条非重复记录, 图 6 是未处理的该数据集在 Google Earth 平台上的展现。



图 6 鸟类迁徙数据在 Google Earth 平台上的展现



图 7 数据挖掘结果在 Google Earth 平台上的展现

3.3.1 栖息地范围的确定与可视化

数据挖掘过程得到的是迁徙过程中每个簇的信息, 如图 7 所示, 为了能够获取鸟类迁徙过程中的栖息地和越冬地信息, 还需要进一步的确定鸟类活动的区域。在鸟类迁徙研究中确定活动范围区域的方法主要有最小面积法^[8]和核心法^[9]两种。根据我们获得的数据情况, 最小面积法更适合我们的获取的数据的类型和信息。对每个数据挖掘得到的簇信息, 为了获取鸟类活动区域的一个边界, 我们对簇中所有的对象运用凸包算法, 本系统使用的凸包算法为 Graham 扫描法, 时间复杂度为 $O(n \lg n)$ 。算法运用了一种称为“旋转扫除”(Rotational Sweep)的技术, 根据每个顶点对一个参照顶点的极角的大小, 依次进行处理。在处理过程中, 我们采取的找到纬度最低和经度最西的顶点作为参照顶点, 这样能够保证这个对象一定在所获取的凸包中。通过计算凸包, 我们可以获取鸟类迁徙中的频繁区域。对于栖息地的面积可以通过球面几何学的相关公式计算

得到。球面上的一个封闭的集合图形是由一系列大圆(球面通过球心的平面切成的圆)上的弧组成的,可以通过分割成球面上的三角形计算得到^[10]。如果半径为 R 的球面多边形的弧度的集合是 Φ , 那么多边形的面积为 $S = (\Phi - (n - 2)\pi) * R^2$, 其中 n 为多边形的边数。

我们将得到的区域边界信息,使用 GIS 平台展现出来,以实现数据挖掘结果的可视化。相对于桌面版的 GIS 平台,Web 版本的 GIS 有着访问更加便捷,客户端的平台独立性、简化安装过程(甚至不需要任何安装)等优点。在本系统中,我们选用 Google 公司的 Google Maps 产品作为我们数据展示的平台。为了在 Google Maps 上进行数据展示,需要使用 KML(Keyhole Markup Language)^[11]文件格式对数据进行组织。

3.3.2 聚类挖掘结果分析

最终确定的聚类树模型的层次为 4 层,编号为 0 层-3 层。在聚类树第 1 层中,我们选定参数 $\epsilon = 35000m$, $MinPts = 25$, 会得到 6 个簇,对应 6 个鸟类的栖息地。平均每个栖息地区域的面积为 $29045.38 km^2$ 。在图 8 中我们可以清晰的看到鸟类在青海湖和扎陵湖、鄂陵湖区域的繁殖地。鸟类最大的越冬地分布在西藏拉萨河谷地区,它的面积是 $9254 km^2$, 另外我们发现其中的一个种群(编号为 BH07_67693)没有选择青海湖地区,而是选择了蒙古作为繁殖地。

的核心面积为 $232.9636 km^2$ 。可以明显的看到,在青海湖区域,鸟类的活动在湖北,湖南和湖西鸟岛附近最为集中,与实际的观察结果吻合。



图 9 层次 2 中青海湖区域的鸟类的聚类结果

在聚类树第 3 层中,我们选定参数 $\epsilon = 300m$, $MinPts = 25$ 。我们可以得到更具体的一些鸟类的栖息地点。如图 10 所示,其中编号为 2 的地点的地名为三块石,是一个很重要的鸟类的繁殖聚集地。有 7 只被跟踪的斑头雁从 2007 年 4 月 10 日到 2007 年 6 月 24 日停留在那里,共计停留了 74 天。这个例子证明我们可以通过层次聚类的方法,不断的缩小参数,获取了更精细的结果。

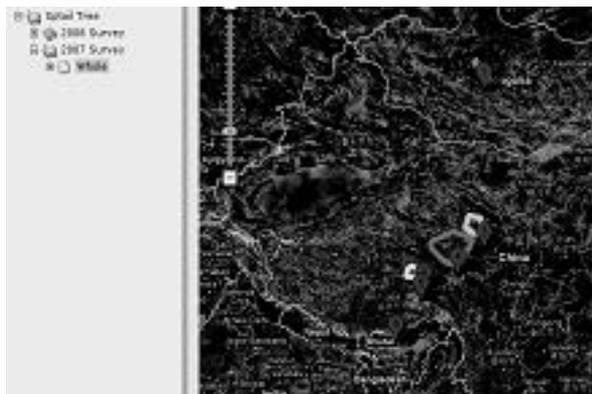


图 8 层次 1 中的鸟类迁徙过程的聚类结果

在聚类树第 2 层中,我们选定参数 $\epsilon = 3000m$, $MinPts = 25$, 对应的得到了 34 个簇。其中每个区域的平均面积为 $282.96 km^2$ 。如图 9 所示,在第 1 层的青海湖区域中,我们在第 2 层中得到了 6 个子区域。数据集中的 14 只鸟在这个区域停留了 231 天,平均



图 10 层次 3 中青海湖湖西地区的鸟类聚类结果

4 总结

本文在对青海湖候鸟迁徙进行卫星跟踪的基础上,使用数据挖掘聚类算法对大量的鸟类迁徙卫星跟踪数据进行数据挖掘,提出了适合鸟类迁徙的基于层次的 DBSCAN 算法,成功的获取鸟类迁徙过程中的栖息地信息,并通过 Google Maps 平台实现数据挖掘结果的可视化。系统大大减轻了传统的描点和手工统计等方法

来获取鸟类的迁徙路径和计算栖息地等工作量。目前系统的功能还局限于鸟类栖息地的发现,增量的鸟类栖息地挖掘以及鸟类迁徙中栖息地中的活动规律,都是进一步的工作方向。

参考文献

- 1 Berthold P, Terrill S B. Recent advances in studies of bird migration. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1991,(22):357 - 378.
- 2 Liu J, Xiao H, Lei F, Zhu Q. Highly pathogenic H5N1 influenza virus infection in migratory birds science. *Science*, 2005,309(5378):1206.
- 3 Argos User's Manual. <http://www.argos-system.org/manual/>
- 4 关鸿亮, 通口广芳. 卫星跟踪技术在鸟类迁徙研究中的应用及展望. *动物学研究*, 2000,21(5):412 - 415.
- 5 伍和启, 杨晓君, 杨君兴. 卫星跟踪技术在候鸟迁徙研究中的应用. *动物学研究*, 2008,29(3):346 - 352.
- 6 Ester M, Kriegel HP, Sander J, Xu X. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. *Proc. 2nd Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining*. 1996.
- 7 Muzaflar SB, Takekawa J. Seasonal movements and migration of Pallas's Gulls *Larus ichthyæetus* from Qinghai Lake, China Forktail, 2008,(24):100 - 107.
- 8 Ganusevich SA, Maechtle TL, Seegar WS, Yates MA, Mcgrady MJ, Fuller M, Schueck LD, Henny CJ. Autumn migration and wintering areas of Peregrine Falcons *Falco peregrinus* nesting on the Kola Peninsula, northern Russia. *Ibis*, 2004,146:291 - 297.
- 9 Wood AG, Naef-Daenzer B, Prince PA, Croxall JP. Quantifying habitat use in satellite-tracked pelagic seabirds: Application of kernel estimation to albatross locations. *Journal of Avian Biology*, 2000,(31):278 - 286.
- 10 Weisstein, Eric W. "Spherical Polygon." From *Math World--A Wolfram Web Resource*. <http://mathworld.wolfram.com/SphericalPolygon.html>
- 11 <http://code.google.com/intl/ja/apis/kml/documenta-tion/>