

GPRS/ GIS 技术在自动雨量监测网中的应用

崔劲松 张涛 杨雨春

(沈阳市气象局, 沈阳 110168)

摘要 为提高沈阳市气象事业的现代化水平和服务水平,利用分组无线业务(GPRS)和地理信息系统(GIS)技术将分布在沈阳市各个县区的 46 个自动雨量站组建成自动雨量监测网。GPRS 具有快捷登录、高速传输、永远在线、按量计费等优点,为监测网提供了可靠的通信子网。GIS 在信息处理上具有空间分析的优势,不但可以进行自动雨量站的空间定位、雨量属性查询,还可以利用空间插值方法将离散的雨量数据转换成连续的雨量空间分布,使雨情的表达方式更为直观,提高了雨情的分析与处理水平。

关键词 GPRS GIS 雨量 自动监测网 空间分析

引言

雨量的监测、分析与处理一直是气象部门的一项重要工作。自动雨量监测网的组建为做好这项工作提供了一个有利的手段。按传输方式分类,自动雨量监测网可分为有线和无线两种。有线传输的工作原理是为每个雨量站配备一条电话线和一台调制解调器。雨量采集器以拨号的方式通过调制解调器和电话线将雨量数据传输到位于气象局的中心服务器上。同时,雨量采集器还可以用同样的方式接收来自中心服务器的指令,实现双向通信。温州市气象局于 2002 年组建的实时雨量自动监测警报网^[1]就是采用的这种方式。该监测网的一期工程由 10 个雨量站组成,用来对全市灾害性天气,特别是山区暴雨、大暴雨天气进行预警和监测。基于无线传输的自动雨量监测网是用无线通信模块取代了电话线和调制解调器来实现的。目前无线通信模块主要采用中国移动公司提供的 GSM (Group Special Mobile)和 GPRS (General Packet Radio Service)技术。青海省气象局于 2003 年 4 月组建了由 42 套自动雨量站组成的基于 GSM 通信方式的自动雨量监测网。该网已成功地应用于西北地区人工增雨(一期)工程^[2]。河南气象局于 2004 年初组建了传输方式

更为先进的基于 GPRS 技术的无线雨量监测网。该监测网不但实现了雨量数据的实时采集与传输,还实现了雨量信息在 Internet 上动态更新显示^[3]。河北省气象局也于 2004 年 8 月建立了 GPRS 自动雨量监测系统,用于为政府部门提供雨情信息。上述的自动雨量监测网各有特点。在传输方式上,有采用有线方式的,也有无线方式的。在对雨量数据的处理方面,他们基本都实现了雨量数据的实时显示功能,可用图形、报表等方式进行输出。但他们所表达的只是离散的雨量数据,缺乏对连续的雨量空间分布的描述,不具备空间分析能力。随着沈阳市气象事业的不断进步,对于自动雨量监测网的需求日益增加。2004 年沈阳市开始组建自动雨量监测网。在雨量数据传输方面,选用具有成本低、布点灵活、分布范围广等优点的无线方式,并采用具有快捷登录、高速传输、永远在线、按量计费等优点的 GPRS 技术。在对雨量数据的处理方面,由于 GIS 具有强大的空间分析功能,我们引入了 GIS 技术。它不但可以实现雨量数据的实时显示等功能,还能够进行自动雨量站的空间定位与雨量属性的查询,并能将离散的雨量数据转换为连续的雨量空间分布,使系统的表现形式与实际情况更相符,提高了雨情的分析与处理水平。

1 GPRS在自动雨量监测网中的应用

1.1 GPRS技术的优势

GPRS作为第2代移动通信 GSM 向第3代移动通信(3G)的过渡技术,是由英国 BT Cellnet 公司在1993年提出的,是基于 GSM 的移动分组数据业务,提供端到端的、广域的高速无线 IP 连接^[4]。

相对原来 GSM 的电路交换数据传送方式,采用了分组交换技术的 GPRS,具有下列优势:①支持中、高速率数据传输;②网络接入速度快;③非常适合突发数据应用业务;④资源利用率高;⑤实现了基于数据流量、业务类型及服务等级质量的计费功能,计费方式更加合理,用户使用更加方便^[5]。GPRS 技术的上述优势使它能够满足自动雨量监测网实时、频繁地采集、传输雨量数据的需求,为自动雨量监测网的组建提供了可靠的通信子网。目前在全国范围内已经全面开通 GPRS 服务。

1.2 GPRS技术在自动雨量监测网中的应用

沈阳市自动雨量监测网采用“客户—服务器”的组网结构。客户端由46个自动雨量站和 GPRS 传输终端组成,服务器端由一台中心服务器和多个监控终端构成。自动雨量站是一台具有 RS232 串行接口的雨量数据采集设备,用于采集储存雨量数据。GPRS 传输终端用于将雨量数据通过 GPRS 网络和 Internet 传送至中心服务器。中心服务器位于市气象台,负责整个系统的管理配置并对雨量数据进行海量储存和格式转换等预处理。监控终端位于市及各县区的气象台。市气象台的监控终端与中心服务器处于同一个局域网内。各县区的监控终端通过 2 M 光纤、路由器及网关与中心服务器相连。监控终端负责对降水情况进行实时监控及对雨量数据进行空间分析等处理。沈阳市自动雨量监测网的结构见图1。

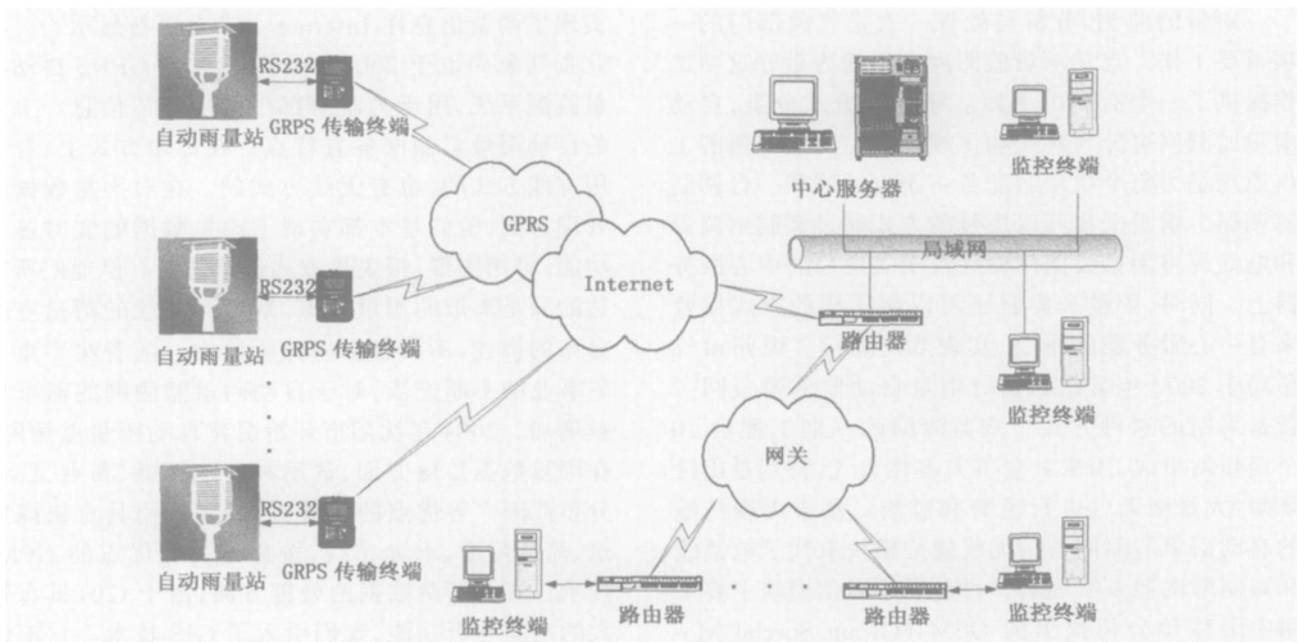


图1 沈阳市自动雨量监测网

GPRS 传输终端是 GPRS 技术在沈阳市自动雨量监测网中应用的关键所在。GPRS 传输终端通过 RS232 串行接口与自动雨量站连接。它内置 GPRS 模块和嵌入式网络处理模块。2 个模块协同运作完成 Internet 的接入(包括:拨号、TCP/IP、PPP 协议处理等),并将来自自动雨量站的雨量数据打包后发往中心服务器。中心服务器通过 2 M 光纤以宽带

上网方式登录到 Internet 上。它必须有一个静态 IP 地址,使中心服务器每次登录到 Internet 所获得的 IP 地址(即公网 IP 地址)不变。

沈阳市自动雨量监测网的工作流程是中心服务器首先向网络中所有的 GPRS 传输终端发送“OPEN”命令,GPRS 传输终端接收到命令以后,通过串口向自动雨量站转发相同的命令,然后监控自

动雨量站是否做了应答,应答成功以后,GPRS 传输终端再向自动雨量站发送“GETN”命令,然后将所响应的雨量数据向中心服务器转发,在转发时需要附上相应地址的信息,以利于中心服务器识别。中心服务器将接收到的雨量数据进行格式转换,海量存储后传送给监控终端进行处理,实现雨量数据的显示和分析等功能。

2 GIS 在自动雨量监测网中的应用

GIS 区别于其他管理信息系统的最主要特点是其具有空间分析能力。根据空间分析作用的数据性质的不同,把空间分析分为^[6]:①基于空间图形数据的分析运算;②基于非空间属性的数据运算;③空间和非空间数据的联合运算。空间分析的基本方法主要有空间查询与量算,空间插值,空间变换,缓冲区分析,叠加分析,网络分析,空间统计分类分析等。

雨情也是一种地理空间数据,除了具有量级属性外,还具有空间位置等地理属性,可以利用 GIS 的空间查询功能来实现自动雨量站的空间定位和雨量属性查询,还可以利用 GIS 的空间插值功能实现从离散的雨量数据获得整个沈阳地区的雨量分布情况。

2.1 自动雨量站的空间定位和雨量属性查询

自动雨量站的空间定位和雨量属性查询属于图形与属性互查,是 GIS 的基本功能之一。空间定位是按属性信息的要求来查询空间位置,称为“属性查图形”。如可根据自动雨量站的名称或其雨量来查询其位置,这和一般非空间的关系数据库的 SQL (Structured Query Language) 查询没有区别,查询到结果后,再利用图形和属性的对应关系,进一步在图上用指定的显示方式将结果定位绘出。雨量属性查询是根据对象的空间位置查询有关属性信息,称为“图形查属性”,如查询选中的某个或某些自动雨量站在某时间段的雨量。该查询通常分为两步,首先借助空间索引,在地理信息系统数据库中快速检索出被选空间实体——自动雨量站,然后根据空间实体与属性的连接关系即可得到所查询空间实体的属性列表,即自动雨量站的雨量^[7]。

2.2 利用 GIS 空间插值功能获得雨量空间分布

雨量的空间分布具有连续性的特征,而我们获取的雨量数据是离散的,不连续的。利用 GIS 的空间插值功能可将离散点的雨量数据转换为连续的雨

量空间分布,使雨量信息的表达更直观,更具实际意义。空间插值的理论假设是空间位置上越靠近的点,越可能具有相似的特征值;而距离越远的点,其特征值相似的可能性越小。本文采用的插值方法有距离倒数加权插值(Inverse Distance Weighted)、样条函数插值(Spline Method)、克里金插值(Kriging Method)。

2.2.1 距离倒数加权插值

距离倒数加权插值法是假定已知点雨量值对未知点雨量值的影响与距离有关,越靠近未知点对其影响越大。其影响程度用一个权重系数来量化,权重系数的大小为已知点到未知点的距离的倒数的平方。对众多已知点雨量值进行加权平均即可得到未知点的雨量值。距离倒数加权插值法的图形表达如图 2。

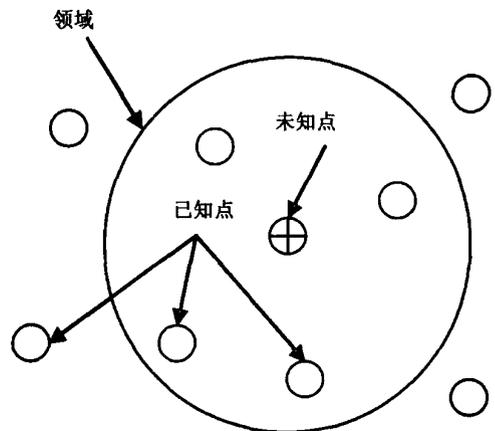


图 2 距离倒数加权插值法示意

距离倒数加权插值法的计算公式如下:

$$C_0 = \frac{\sum_{i=1}^n W_i C_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

式中, C_0 是未知点雨量值; C_i 是已知点雨量值; W_i 是权重系数,其数值为未知点与已知点距离倒数的平方。距离倒数加权插值法的优点是可以通过权重调整空间插值的结构,缺点是不合理的加权会导致较大的偏差。

2.2.2 样条函数插值

样条函数插值法是通过 2 个样本点之间的曲线变形达到最佳拟合的插值效果。根据曲线变形的方式,可以分为 2 种类型:规则变形(Regularized

Type)和张力变形(Tension Type)。在规则变形中,权重越高曲线越平直,雨量梯度差异越小;在张力变形中,权重越高曲线曲率越大,雨量梯度的距离衰减幅度越大。

样条函数是一个分段函数,进行一次拟合只有与少数点拟合,同时保证曲线段连接处连续。一般的分段多项式 $p(x)$ 定义为^[7]:

$$p(x) = p_i(x) \quad x_i < x < x_{i+1}$$

$$(i = 1, 2, \dots, k - 1)$$

$$p_i^{(j)}(x_i) = p_{i+1}^{(j)}(x_i)$$

$$(j = 0, 1, 2, \dots, r - 1; i = 1, 2, \dots, k - 1)$$

x_1, \dots, x_{k-1} 将区间 $[x_0, x_k]$ 分成 k 个子区间,这些分割点称“断点”,曲线上具有这些 x 值的点称为“节”。函数 $p_i(x)$ 为小于等于 m 次的多项式。 r 表示样条函数的约束条件:

- $r = 0$, 无约束;
- $r = 1$, 函数连续且对它的导数无任何约束;
- $r = m - 1$, 区间 $[x_0, x_k]$ 可用一个多项式表示;
- $r = m$, 约束条件最多。

$m = 1, 2, 3$ 时的样条分别为 1 次、2 次、3 次样条函数,其导数分别是 0 阶、1 阶、2 阶导数,2 次样条函数的每个节点处必须有 1 阶连续导数,3 次样条函数的每个节点处必须有 2 阶连续导数。

样条函数插值法的优点是在样本数据较少的空间分析中,可以通过张力变形变换权重,使雨量梯度曲线更加接近原始雨量样本点。缺点是这种变形会对原始数据空间插值产生偏差,产生过于理想化的雨量梯度偏差。

2.2.3 克里金插值

克里金插值法充分吸收了空间统计的思想,认为任何空间连续性变化的属性是非常不规则的,不能用简单的平滑数学函数进行模拟,但是可以用随机表面给予较恰当的描述。因此通过确定空间搜索半径,计算这一空间范围所有样本点的自相关和协方差,在此基础上进一步进行插值预测和标准差分析,因而达到比较客观地进行空间插值的效果。经过多年的发展完善,克里金方法已经有了几个变种,如普通克里金法、泛克里金法、析取克里金法、对数正态克里金法、协同克里金法、因子克里金法等。本文以满足 2 阶平稳假设时采用的普通克里金法来说明其基本思想^[8]。

设研究区域为 A , 区域化变量为 $\{Z(x) \in A\}$,

x 表示空间位置。 $Z(x)$ 在采样点 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 处的属性值为 $Z(x_i)$ 。根据普通克里金插值原理,待估计点 x_0 的属性值是 n 个已知采样点属性值的加权和,即:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad \lambda_i (i = 1, 2, \dots, n) \text{ 是}$$

与采样点 $Z(x_i)$ 有关的权系数,它表示各个采样点对待估计点的贡献。

假设区域化变量为 $Z(x)$ 在整个研究区域满足 2 阶平稳假设:

- ① $Z(x)$ 的数学期望存在且等于常数: $E[Z(x)] = m$ (常数);
- ② $Z(x)$ 的协方差 $\text{cov}(x_i, x_j)$ 存在且只与两点之间的相对位置有关;或满足本征假设:
- ③ $E[Z(x_i) - Z(x_j)] = 0$;
- ④ 增量的方差存在且平稳: $\text{Var}[Z(x_i) - Z(x_j)] = E[Z(x_i) - Z(x_j)]^2$ 。

依据无偏性要求: $E[Z^*(x_0)] = E[Z(x_0)]$ 经推导得:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

在无偏条件下使估计方差达到最小,即:

$$\min \left| \text{var}[Z^*(x_0) - Z(x_0)] - 2\mu \sum_{i=1}^n (\lambda_i - 1) \right|$$

其中 μ 为拉格朗日乘子。

可得求解权系数 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 的方程组:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i \text{cov}(x_i, x_j) - \mu = \text{cov}(x_0, x_j) \\ i = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases}$$

求出诸权系数 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 后,就可求出待估计点 x_0 处属性值 $Z(x_0)$ 。

克里金插值法适合样本数据量较大、分布较均匀的空间分析。其主要优点是对一组空间数据点的关系来确定空间插值,因而更加客观真实,同时可以通过误差等值线确定预测区的误差范围大小;缺点是所需要的空间数据点较多。

3 结语

GPRS 作为基于分组交换技术的无线传输通信方式,具有快捷登录、高速传输、永远在线、适合突发

性数据传输等特点,能够满足自动雨量监测网对雨量数据采集、传输的实时性、频繁性要求,可以作为自动雨量监测网的通信子网。

GIS 具有强大空间分析能力。在自动雨量监测网的应用中,它不但能够进行雨量站空间位置及雨量属性查询,还可以通过其空间插值方法获得雨量的空间分布,使雨量数据的处理、分析达到一个新的水平。本文介绍了 3 种插值方法:距离倒数加权插值、样条函数插值及克里金插值。这 3 种方法各有特点。从数学角度来看,距离倒数加权插值在 3 种方法中最简单,克里金插值最复杂。但由最复杂的方法得出的雨量分布结果是否最接近实际情况还需在实践中进行检验。因为获取雨量的分布除了要考虑数学因素外,还应考虑天气系统等天气学方面的因素。从使用经验中得出的初步结论是,距离倒数加权法和样条函数法适用于降水范围小、降水站点数较少的情况,克里金法在降水范围广、降水分布比较均匀、降水站点数多的情况下使用效果较好。由于本系统建立时间不长,还没有对 3 种插值方法得

出的结果及他们的适用条件进行深入的分析,在今后的工作中应加强这方面的研究。

参考文献

- [1] 马永安,叶子祥,马奇蔚. 实时雨量自动监测警报网建设方案的探讨及新一代遥测雨量计介绍[J]. 浙江气象, 2003, (2): 27 - 30.
- [2] 胡玉峰,李建国. CA WS600-R 自动雨量站[J]. 中国气象科学研究院年报, 2003.
- [3] 王立端,杨雷,范保松. 利用 GPRS 的远程自动雨量监测网络[J]. 电子技术, 2004, 10: 23 - 24.
- [4] 韩斌杰. GPRS 原理及其网络优化[M]. 北京:机械工业出版社, 2003: 1 - 24.
- [5] 吴乃军,胡玉峰,李佳. 新一代中尺度自动气象站网络监测系统[J]. 气象科技, 2005, 33(5): 460 - 463.
- [6] 汤国安,陈正江,赵牡丹,等. Arc View 地理信息系统空间分析方法[M]. 北京:科学出版社, 2002: 103 - 111.
- [7] 邬伦,刘瑜. 地理信息系统——原理、方法和应用[M]. 北京:科学出版社, 2001: 180 - 192.
- [8] 靳国栋,刘衍聪,牛文杰. 距离加权反比插值法和克里金差值法的比较[J]. 长春工业大学学报, 2003, (3): 53 - 54.

Application of GPRS/ GIS Technology to Automatic Rainfall Monitoring Network in Shenyang

Cui Jinsong Zhang Tao Yang Yuchun

(Shenyang Meteorological Bureau, Shenyang 110168)

Abstract: The Shenyang Automatic Rainfall Monitoring Network (ARMN) is set up by using General Packet Radio Service (GPRS) and Geographical Information System (GIS) technology. It is composed of 46 automatic rainfall stations (ARS) distributed in the Shenyang area. GPRS has advantages of “fast access time,” “high speed data transmission,” “always online” and “pay by transferred data.” It provides a reliable communication sub-network for ARMN. GIS has the advantage of spatial analysis in processing information. It can not only get the locations and query the rainfall attribute of ARS' s, but also convert discrete rainfall data into continuous spatial distribution, which allows more direct representation of rainfall conditions. GIS improves the analysis and processing level of rainfall data.

Key words: GPRS, GIS, rainfall, automatic monitoring network, spatial analysis