

何艳丽, 黄飞龙. 2015. 多传感器自动站的数据融合效果及优势分析. 气象, 41(8): 1028-1035.

多传感器自动站的数据融合效果及优势分析^{*}

何艳丽 黄飞龙

广东省大气探测技术中心, 广州 510080

提 要: 采用三个同类型的温度、湿度和雨量传感器分别对气温、相对湿度以及降雨量进行测量。通过计算同一气象要素三个测量值之间的离散度以及数据集中度, 结合观测数据的时间序列变化趋势, 融合得到一个更具有代表性, 更加准确的数据作为该气象要素的观测值。对三种气象要素多种天气状况下的融合数据进行业务对比, 一致率计算结果证明, 多传感器融合结果与业务观测数据一致性比较高。对差值的规律和异常数据进行分析, 显示多传感器具有以下优势: 在单一传感器故障时保障观测数据连续不间断, 剔除由信号干扰或者误操作导致的错误数据, 增加对流过程中奇异数据的可信度, 及时反映单个传感器性能变化。因此多传感器自动站不但可以作为业务使用, 而且对解决业务观测中部分数据不可信的问题具有重要意义。

关键词: 多传感器, 自动气象站, 数据融合, 离散度, 数据集中度

中图分类号: P414, P412

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2015.08.013

Data Fusion Effect and Advantage Analysis of Multi-Sensor Automatic Weather Station

HE Yanli HUANG Feilong

Guangdong Atmosphere Detection Technology Center, Guangzhou 510080

Abstract: Three sensors of the same type are adopted to monitor air temperature, relative humidity and rainfall. Then dispersion and concentration of observation data are calculated. Combined with the consideration of variation tendency in time series, models of data fusion are invented, and typical and accurate data are worked out as final meteorological observation data. The fusion data of three meteorological elements are collected in different weather conditions, and by the comparison of the data, the calculation result of concordance rate proves that there is high consistency between the two sets of data. Analysis of regularity and abnormal data of difference values show multi-sensor automatic weather station (AWS) has advantages as follows. It can make sure that observation data are continuous when single sensor is out of work; it can eliminate the influence of wrong data from interference signal and misoperation; and it can verify the validity of singular data in severe convective weather processes and reflect the performance changes of single sensor. So, the multi-sensor AWS can be applied in surface weather observation, which is of great importance for solving the observation data problems at present.

Key words: multi-sensor, automatic weather station (AWS), data fusion, dispersion, concentration

* 广东省气象局科学技术研究项目(2012B19)资助

2014年4月3日收稿; 2015年5月16日收修定稿

第一作者: 何艳丽, 主要从事大气探测设备的研究开发工作. Email: 108617489@qq.com

引 言

当前地面气象观测业务中使用的自动气象站可以观测多种气象要素,包括风速、风向、气温、相对湿度、雨量、大气压强、地表温度、浅层地温、深层地温、蒸发量和大气能见度等。所有的气象要素都由唯一的探测传感器将要素变化量转换为电气信号,由采集器进行采集、计算处理,得到每分钟的气象瞬时值;但是传感器的唯一性带来了一些难以解决的问题。

首先是观测数据的连续性得不到保障。唯一的传感器一旦工作异常便会造成观测数据的缺失,这种情况的补救措施是使用人工观测进行补充,但是又带来另外一个问题,就是人工观测永远不能取消。对于气温或者湿度的观测来说,也许短时的缺测不是那么严重(鞠晓慧等,2010;苑跃等,2010;连志鸾,2005;王立等,2005;王颖等,2007),但是对于强降水观测或者强风观测来说,缺测的可能是最关键的数据。

其次是观测数据异常情况的识别困难。唯一传感器的自动站可以对观测数据作一些基本的判断,例如采集数据是否超出传感器的测量范围,统计得到的气象瞬时值是否超出了允许的变化范围等(中国气象局探测中心,2012)。超出变化范围的数据将会被标识为“可疑”,表明可信度降低,因此这种数据仍然需要人工去审核或者印证,决定该数据是否可用。这要求观测员通过其他渠道取得印证的数据或者从历史数据的变化趋势中求证该可疑数据的合理性。这种情况对于风速、大气能见度这种分钟变化非常大的要素来说会经常发生,尤其是大气能见度,由于红外前向散射能见度观测仪的采样区的局限性,即使是 10 min 滑动平均的能见度观测值,相对于整个被观测区域来说也未必具有空间代表性(刘西川等,2010;霍文等,2006;李孟麟等,2008;温华洋等,2013),安装多个传感器进行数据融合是一个合理的方法。

再者,传感器的稳定性有一定的期限。目前自动气象站业务规范里面要求探测传感器每两年必须重新检定,符合测量灵敏度以及精度要求的才能继续使用。这是一个补救方法,但是仍然不能保证业务传感器工作在性能稳定状态。由于工作环境的(中国气象局,2000)影响,传感器可能不到两年便迅

速老化不适合使用,也可能在重新检定的时刻还能维持在正常状态,但是随后性能就发生变化。因此,实时地比较传感器的测量值并且得出变化趋势是检查探测传感器是否仍然适合业务使用的一个更加合理的方法。

针对以上问题,本文设计了同一要素多传感器自动站,对气温、相对湿度和雨量三个气象要素分别采用相同型号的三个传感器进行测量,再对测量数据进行数据融合得到一个值作为该时刻的气象瞬时值。刘贵喜等(2000)研究了如何选择冗余传感器并且构造最小代价优化准则进行数据融合,赵华哲等(2013)对多传感器使用遗忘信息,通过均方误差比较,结合新采样值的影响分配权重进行加权数据融合,杨国胜等(2001)使用神经网络对多传感器进行数据检测预报系统故障。这些研究对气象要素观测以及设备状态监测提供了良好的方法。同一要素多传感器自动站采用了加权融合的思路,同时兼顾仪器性能检测。对不同要素的采集数据使用不同的数据处理方法,通过比较数据的集中度与离散度(集中度指一组数据相互靠拢的程度,离散度指一组数据的分散程度),比较气候变化阈值与时间序列趋势等因素进行数据融合,剔除超出测量范围的数据,保留通过印证的“可疑”数据,记录传感器性能变化趋势,不但可以保证测量数据的连续性,而且能够保证测量数据的准确性与科学性。多传感器自动站解决了传感器唯一性带来的问题,满足业务应用中对观测数据可信度的要求,更加适合台站无人值守以及长期气候观测数据的采集。

1 系统结构

本设计的自动站对气温、相对湿度以及雨量三个气象要素实现多传感器观测融合,为了方便以后对更多的要素实现多传感器观测融合,采用了 CAN 总线结构的自动气象站,系统结构如图 1。

自动站包含了地面气象观测的常规要素。其中风速、风向、气压信号都是脉冲信号,采用定时器监测脉冲输入端,判别脉冲信号的有效性。为了防止强脉冲对微弱的模拟电压信号产生干扰,影响观测稳定性和观测精度,单独设计一个数字采集模块作为 CAN 总线的一个节点。

地温采集模块共对 10 路温度信号进行采集处理,包括 4 路深层地温信号、4 路浅层地温信号、地

表温度以及草面温度信号。10 路地温信号都是直流弱电信号,必须经过信号放大,滤波等一系列预处理之后,再使用 16 位 A/D 模数转换芯片采集。

多传感器采集模块包括三个 Pt100A 温度传感器,三个 HMP45D 湿度传感器以及三个 SL3-1 型雨量传感器的数据采集。由于温度、湿度的信号类型与雨量传感器的信号类型不同,该模块也有两种不同的数据处理方法,分别是模拟信号的采集以及低频脉冲信号的采集计数。

这三个模块都通过 CAN 总线以报文的方式与采集系统主板通信。主板将时间校准、复位、参数设置以及数据请求命令等发送到各个模块,各个模块将数据以及模块节点信息发送给主板。总线还可以新增多个节点以满足日后系统扩展的需要(邬宽明,1996)。

如图 2 和图 3 所示,重点介绍了多传感器模块对温度、湿度信号以及雨量信号的处理流程。中央处理器通过控制信号给温度、湿度传感器提供恒压

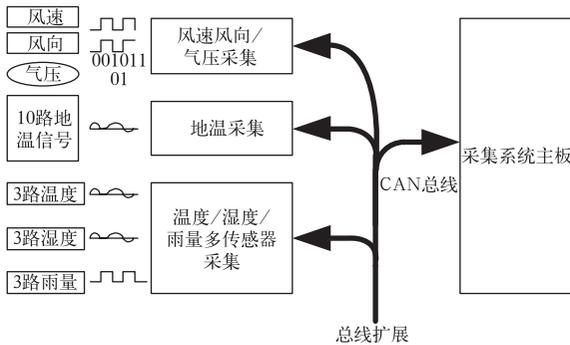


图 1 同一要素多传感器硬件系统结构

Fig. 1 System structure of multi-sensor automatic weather station

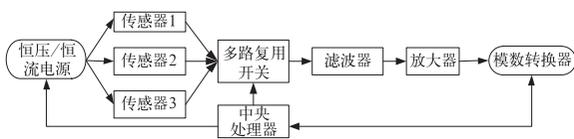


图 2 温度与湿度信号采集流程

Fig. 2 Process of data collection of temperature and relative humidity

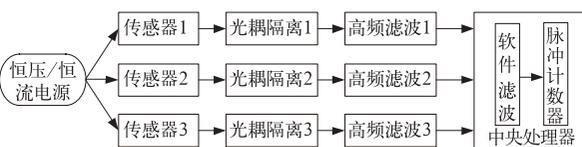


图 3 雨量信号采集流程

Fig. 3 Process of data collection of rainfall

或者恒流电源,反映温度、湿度变化量的电信号经过多路复用开关,依次进入滤波以及放大环节,将干扰波过滤并且将有用的信号放大,保证采样数据的准确性,再依次进入模数转换器进行 16 位的模拟信号数字化。恒压源或者恒流源是可控的,但是要考虑到传感器启动瞬间的不稳定性,采用延时采样或者预热的方式使传感器保持在稳定状态。中央处理器适当安排供电、信号开关、模数转换以及采样值读取的时序,使系统稳定工作并且效率最大。

雨量采集流程与温度和湿度不同,翻斗雨量计实际上是一个脉冲发生器,恒压源通过限流电阻给雨量传感器直流电压,当雨量计翻斗产生翻转的时候磁铁使干簧管吸合形成回路电流,光耦有三个作用:将雨量传感器信号回路与采集回路电气隔离,保护系统电路;通过光电耦合将脉冲信号传递到采集回路,起到脉冲整形的作用;过滤低电平的脉冲干扰信号。高频滤波的作用是将整形后的脉冲上叠加的尖峰脉冲过滤掉,降低尖峰电压对芯片的损害并且使信号更加稳定。软件滤波的功能可以将非正常吸合状态的信号过滤掉,例如过于频繁的吸合或者长时间吸合的脉冲都属于非正常信号。最后是脉冲计数器,正确计算每分钟产生的翻斗次数,得到实时的降雨量统计。

2 同一要素的数据融合

气象要素的变化是一个相对缓慢的过程,气象观测业务中大部分探测数据采用分钟平均作为气象瞬时值(中国质量监督检验检疫总局,2000)。对于多传感器系统,每分钟会得到三个相同要素的气象瞬时值,如何融合这些数据使最终输出的数据的可信度更高,是系统是否具有应用价值的关键因素。

为了使观测数据更加准确地反映气象环境的实际状态,同时保证数值上的连续性,对各种气象要素设计数据融合模型。模型考虑到传感器各自的测量准确性,传感器实测数据之间的离散程度,考虑数据集中度以及实测数据与历史数据的连续性,对各个传感器的实测数据取不同的权重,加权融合为一个数据作为该气象要素的实际输出的气象瞬时值。各个传感器对最终融合数据的权重也将被记录,通过这些记录的统计分析得到传感器性能变化趋势。

温度和湿度的变化规律比较相似,可以采用相同的融合模型。温度和湿度分钟平均数据的融合如

图 4 所示。三个实测气象瞬时值首先根据仪器检定参数进行分段的线性误差订正。然后进行气候极限值检查,对于超出极限范围的数据进行超限记录,同时进行数据离散度的计算。决定三个数据的加权系数的因素有:从样本代表性方面考虑,集中数据取较大权重;在离散度较大的情况下,与上一分钟融合数

据比较接近的实测数据取较大权重;对于超限记录的实测数据,没有得到其他数据相互印证的情况下权重取零,否则参考前面两种情况。最后输出加权融合后的数据作为该分钟的气象瞬时值,同时输出权重记录统计,也就是反映传感器状态是否稳定,是否发生性能变化的参数。

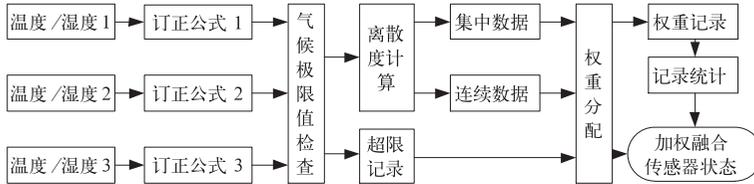


图 4 温度湿度的数据融合模型

Fig. 4 Data fusion model of temperature and relative humidity

雨量观测具有特殊性。首先降雨的分布在局部范围内不一定是均匀的,因此多个雨量传感器安装的位置不同,所得到的实时测量值也可能有不小的差异。其次雨量的分布在时间上也是不连续的,同一个传感器在同一个地点测量得到的雨量变化很大,可能前一分钟是暴雨,后一分钟是小雨。降雨的这两个特性决定了每分钟的雨量观测在空间上的横向比较和时间上的纵向比较的差异会比较大,而各个传感器小时累计雨量相对而言更具有比较意义。因此多传感器的雨量观测数据融合与温度、湿度的方法不一样。

雨量。对于机械雨量传感器来说,有可能雨量传感器 1 输出 0.1 mm 雨量,传感器 2 下一分钟才输出 0.1 mm 雨量。在我国南方,春季一天降雨量只有 0.1 mm 或者 0.2 mm 的情况也是经常存在,因此 0.1 mm 雨量作为一天是否有降雨的判据,可靠性要很高。雨情判断使用时间窗的方法判别当前分钟雨量是否为 0.1 mm。在一段时间长度内检查三个传感器输出 0.1 mm 雨量的一致性,决定 0.1 mm 雨量是否为有效数据。如果具有一致性,则认为 0.1 mm 是有效的;如果不具有一致性,则认为这个 0.1 mm 分钟雨量的实测值是信号干扰或者线路故障导致的某个雨量传感器的误动作,权重取零。对于正常降雨的情况,三个分钟雨量进行离散度计算以及集中数据的取舍给各个实测数据分配权重系数,最后加权融合得到一个分钟雨量数据。各分钟雨量数据同时再经过累计得到一个小时或者多个小时的总雨量,总雨量相互比较印证,结合权重记录的统计结果,得到传感器状态是否稳定的提示信息。

多传感器雨量融合如图 5 所示,分钟雨量首先经过雨情判断。雨情判断是针对毛毛雨情况下实测数据具有特殊权重而设计的环节。根据降雨观测的经验以及数据总结,假设雨量传感器均为正常工作,无论是大雨强(4 mm · min⁻¹)还是小雨强(0.5 mm · min⁻¹),三个传感器输出均有数据可以比较。毛毛雨(雨强 < 0.1 mm · min⁻¹)(GB/T 28592 - 2012)情况下,可能累计几分钟才能采集到 0.1 mm

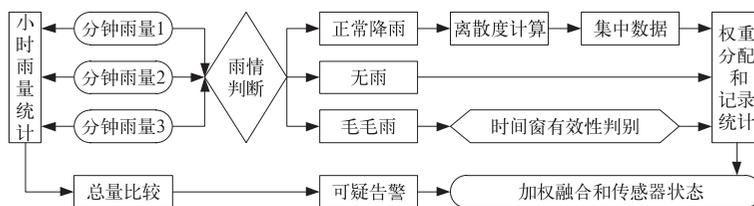


图 5 降雨量的数据融合模型

Fig. 5 Data fusion model of rainfall

3 对比数据总体分析

多传感器自动站安装在广州市国家基本观测站进行几个月的对比观测。气温、相对湿度以及雨量传感器的型号是 Pt100A、HMP45D 以及 SL3-1, 与观测站业务使用的传感器为同一型号。对比总体大部分具有一致性, 体现了多传感器自动站良好的质量控制能力; 小部分具有不一致性, 从其变化规律上说明了多传感器自动站良好的测量稳定性。

由于雨量的分布具有空间和时间上的不均匀性, 在对雨量进行融合效果分析之前, 先分析三个雨量观测值之间的一致性。

取小雨、中雨和大雨三种情况, 每种情况各三次降水过程, 计算三个传感器的累计降水量和三个传感器之间的离散程度, 其中离散度为: 取该次降水过程三个累计降水量的最小值和最大值, 求出差值再除以平均值, 结果如图 6。

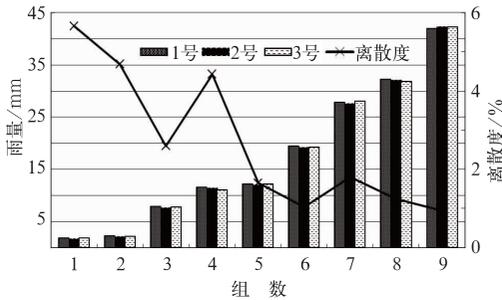


图 6 雨量统计及误差对比图

Fig. 6 Comparison of rainfall statistics and error analysis

三个雨量传感器共九次对比结果显示, 虽然降水分布具有局部非均匀的特性, 但是每次降水总量基本一致, 从离散度曲线来看, 随着降水总量的增多, 传感器之间的观测值越接近, 离散度越小, 主要是由于传感器之间的降水总量的差值不大, 并且不会随着降水量的增大而成比例地增加, 因此离散度逐渐减小。考虑到观测仪器性能的允许误差, 因此可以认为, 三个雨量传感器的观测值一致性较好, 互相对比以及进行数据融合是可行的。

每分钟三个温度、三个湿度和三个雨量观测数据通过各自的数据融合方法最终得到一个温度、一个湿度及一个雨量观测数据, 以地面观测站数据作为标准, 进行两组数据的差值的一致率的计算:

$$C_r = \frac{m}{n} \times 100\%$$

式中, 一致率 C_r 表示两套仪器一致性程度, n 为有效样本数, 指除缺测以外的观测样本数, m 为对比差值的绝对值在新型自动站相应的气象要素观测最大允许误差范围内的个数。

由于降雨并不是连续的, 雨量的一致性分析取 3—6 月共 8 天的降水过程(表 1)。从累计雨量的绝对值差值来看, 差值的平均值为 0.765 mm, 差值对比误差的平均值为 2.2%, 总体效果良好。在降雨量较大的时候误差较小, 但是也有例外情况, 如 4 月 5 日; 降雨量较小的时候误差比较大。降雨量统计样本数不足导致一致率偏低, 对比一致率为 75%。

温度的一致性分析包括了一天温度变化较小的以及温度变化很大的数据, 自动站观测温度的最大

表 1 雨量一致性分析表

Table 1 The analysis of concordance rate of rainfall

日期/月.日	多传感器累计雨量/mm	业务观测累计雨量/mm	最大允许误差/%	对比误差/%	一致率/%
3.8	11.1	11.2	±4	0.89	75
4.5	19.8	18.8	±4	5.32	
4.8	25.5	24.5	±4	4.08	
4.13	42.2	43.3	±4	2.54	
6.15	30.2	31.0	±4	2.58	
6.21	46.6	46.1	±4	1.08	
6.22	29.5	29.3	±4	0.68	
6.23	60.8	61.0	±4	0.33	

允许误差为 0.2℃, 如表 2 所示。从每日的分钟数据统计看, 所选的 4 天中, 日气温变化幅度从 2~10℃, 观测范围从 14.2~30.7℃, 一致率平均值为 96.795%, 显示了绝大部分情况下两组数据的测量

差值不超过 0.2℃。1—4 月按月份数据统计, 一致率均在 99% 以上且波动较小, 显示了在样本数增大的情况下, 一致率比单日统计值有所提高并且趋于平稳。

湿度一致性分析如表 3 所示,由于电容式湿敏传感器性能曲线在高湿环境接近饱和,在低湿环境线性度比较好,因此主要在高湿状态做数据对比。在不同月份的几个高湿日,在环境湿度从低湿进入高湿的过程中(从最低 36%到最高 99%),平均一致率为 98.444%,即两组数据中绝大部分的差值都在

自动气象站相对湿度的最大允许误差($\pm 5\%$)范围内,可以认为两组数据的一致性比较好。从 1—4 月按月份数据统计,一致率均在 99%以上,在样本数增大的情况下,一致率不可能达到 100%但同时也不会过低,各月统计值相对平稳,与业务观测数据的一致性较好。

表 2 温度一致性分析表

Table 2 The analysis of concordance rate of air temperature

日期/月.日	有效样本数 n	最低温度/ $^{\circ}\text{C}$	最高温度/ $^{\circ}\text{C}$	最大允许误差/ $^{\circ}\text{C}$	一致样本数 m	一致率/%
3.7	1440	14.2	23.3	± 0.2	1395	96.88
3.30	1349	18.4	27.3	± 0.2	1295	96.00
4.3	1440	20.4	30.7	± 0.2	1361	94.51
4.8	1438	17.0	19.3	± 0.2	1435	99.79
1.1—31	44621	5.6	23.5	± 0.2	44221	99.10
2.1—28	40305	6.2	21.7	± 0.2	40117	99.53
3.1—31	44573	8.5	26.6	± 0.2	44126	99.00
4.1—30	43156	12.3	28.2	± 0.2	42778	99.12

表 3 湿度一致性分析表

Table 3 The analysis of concordance rate of relative humidity

日期/月.日	有效样本数 n	最低湿度/%	最高湿度/%	最大允许误差/%	一致样本数 m	一致率/%
3.10	1431	65	90	± 5	1431	100
3.31	1200	36	96	± 5	1140	95.00
4.1	1439	36	94	± 5	1402	97.43
4.3	1440	52	99	± 5	1437	99.79
4.4	1153	56	98	± 5	1153	100
1.1—31	44621	38	93	± 5	44405	99.52
2.1—28	40305	35	98	± 5	40012	99.27
3.1—31	44573	35	100	± 5	44132	99.01
4.1—30	43156	34	100	± 5	42875	99.35

在上述几个月的雨量、温度以及相对湿度的对比数据中,地面观测站的数据由自动气象站进行自动采集,并且由观测员利用人工观测仪器进行数据纠错,在无人值守的情况下,多传感器自动站的观测数据能够与地面站的数据相一致,说明多传感器自动站及其数据融合算法具有良好的数据质量控制能力,更加适合长期的无人值守的自动观测业务使用。

在 2038 个有效样本(小时正点数据)中,图 7 显示气温不一致样本(差值超出 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$)均出现在环境温度高于 24°C 范围内,在温度高于 28°C 时甚至出现 0.4°C 的差值。从数据出现的时间来统计,大部分出现在气温升高较快或者下降较快的时段。因此,随着日气温的逐步增高,气温上升和下降曲线变陡,单个传感器出现滞后或者回跳的概率增大。图 8 显示环境湿度在 $63\% \sim 85\%$ 时湿度差值偏大,单个传感器观测数据在环境快速变化的时候更容易产生回跳现象,多传感器系统的测量稳

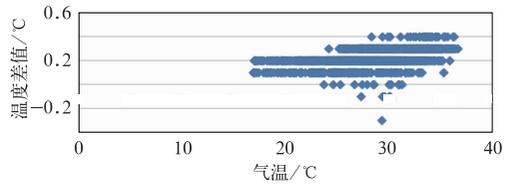


图 7 温差随温度变化

Fig. 7 Regulation of temperature difference

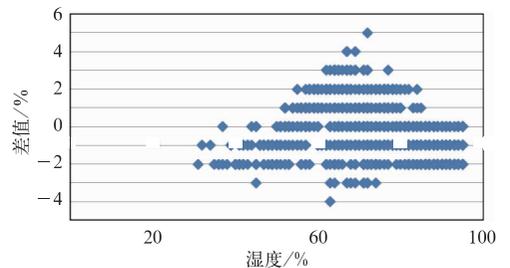


图 8 湿度差随湿度变化

Fig. 8 Regulation of humidity difference

定性更好。

4 异常数据分析

在对比运行几个月期间,多传感器自动站总体无故障运行,单个传感器的故障很快被发现并且解除。从采集到的异常情况数据分析,多传感器自动站相对于单一传感器自动站在观测数据连续采集以及数据可信度、传感器性能判断方面具有相对优势。

2月27日,三个雨量传感器测得的一天累计雨量分别为6.9、6.8和0.1 mm;2月28日,三个雨量传感器测得的一天累计雨量分别为16.1、15.6和2.3 mm,可见3号传感器出现故障(图9)。如果使用单个传感器,在无人工观测值对比的情况下,由于3号传感器也有观测值,而且当天雨量又较少,很难发现传感器出现异常,因此多传感器能够准确判断异常事件并且保证输出正确的观测值。在暴雨监测的情况下,这些能够互相印证的数据就具有非常重要的意义。

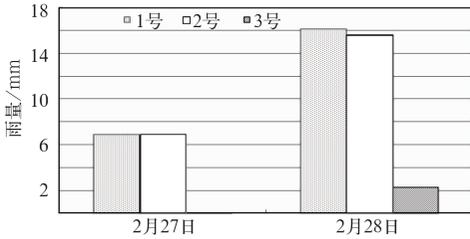


图9 3号雨量传感器降水量异常

Fig. 9 The abnormal data of No. 3 rainfall sensor

3月1日19:13,1号温度传感器观测值出现跳变(图10),另外两个保持稳定以及连续性,因此1号测量值被剔除,融合数据与业务观测值一致。对于单个传感器观测值出现超出允许的变化范围的情况,融合模型能够准确的剔除,并且考虑观测值与历史值的关系合理计算。

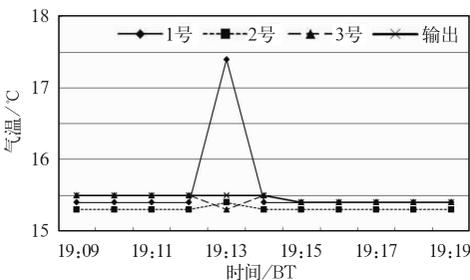


图10 1号温度传感器气温异常

Fig. 10 The abnormal data of No. 1 temperature sensor

2月14日11:39,三个温度传感器均出现较大的测量变化,观测值由前一分钟的25.9、25.6和25.7℃分别跳变到26.5、26.2和26.4℃,然后几分钟内又快速回落到26.2℃附近,并且维持在26.2℃左右振荡(图11)。虽然自动站能够灵敏地采集到快速移动的空气热浪产生的温度跳变,但在单个传感器的情况下,由于观测员无法在事后通过人工手段证实数据的真实性,对于深入研究此类变化的原因或者规律是不利的;而三个传感器同时录得同样的跳变数据,提高了此类数据的可信程度。

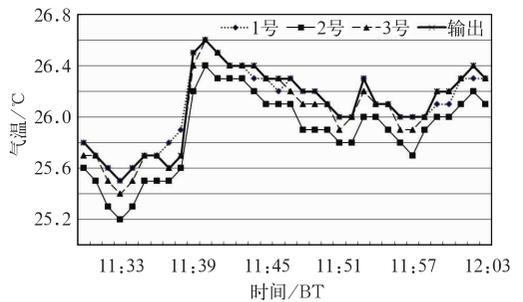


图11 温度观测总体突变

Fig. 11 The overall sudden changes of temperature observation

从4月10日多传感器自动站的相对湿度观测变化曲线(图12)来看,在环境湿度小于80%的时候,各个传感器观测值以及融合数据都非常接近,性能一致,而当相对湿度大于80%的时候,1号湿度传感器观测值比其他传感器明显偏高,最高差值达到5%。由于目前湿度传感器普遍存在高湿度环境下测量值偏低的情况,1号湿度传感器的测量值应当更接近真值,其测量性能反而是较好的,因此在考虑数据融合模型中增大此类测量值的权重的情况下,多传感器自动站能够得到更加准确的观测数据。

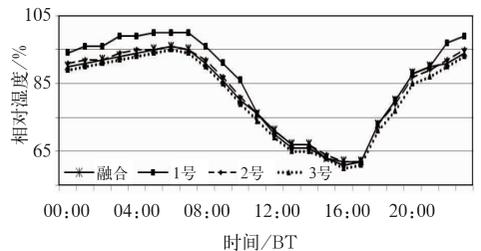


图12 4月10日多传感器相对湿度日曲线

Fig. 12 The curves of relative humidity of multi-sensor automatic weather station on 10 April

5 结 论

针对各气象要素采用单一传感器的自动气象站所固有的一些问题,设计了同一要素多传感器自动站。从硬件设计以及数据采集上考虑了测量结果的准确性以及稳定性。数据融合模型则考虑了数据之间的偏离程度:集中的数据、得到历史数据支持或相互支持的数据获得较大的权重,通过加权融合的方式得到唯一的结果。

试验资料分析表明,多传感器自动气象站的数据与业务观测数据相比,具有以下几点优势:

(1)波动以及回跳减少,具有更好的质量控制性能以及测量稳定性;

(2)在单个传感器发生故障时,能够使用其他两个传感器的观测值进行数据融合,保障观测数据连续不间断;

(3)当信号干扰或者维护不当造成某个传感器的信号异常时,可以自动剔除该类数据;

(4)在剧烈变化的天气过程中,数据之间能够互相印证,能够增加“可疑”数据的可信度;

(5)对长期的数据融合中的权重记录进行分析,能够及时发现单个传感器性能变化,便于判断是否需要维护或者更换。从异常数据分析中也显示,对于传感器普遍存在的一些测量误差问题,可以通过修正融合算法去改善测量性能。因此多传感器自动气象站具有进一步研究改进以及推广的价值。

参考文献

霍文,王健,刘新春,等. 2006. 器测与目测能见度差异分析. 气象科

技,34(5):638-641.

鞠晓慧,任芝花,曹丽娟,等. 2010. 自动与人工观测气压的差异及原因分析. 气象,36(1):104-110.

李孟麟,段发阶,欧阳涛,等. 2008. 前向散射式能见度测量技术研究. 传感技术学报,21(7):1281-1285.

连志鸾. 2005. 自动站与人工站观测记录的差异分析. 气象,31(3):48-52.

刘贵喜,杨万海. 2000. 多传感器融合系统最小代价冗余及优化算法. 东南大学学报(自然科学版),30(1):68-72.

刘西川,高太长,刘磊,等. 2010. 降水现象对大气消光系数和能见度的影响. 应用气象学报,21(4):433-441.

王立,冯海霞,胡宪林,等. 2006. 自动气象站与人工观测数据差异的原因分析. 成都信息工程学院学报,21(4):567-570.

王颖,刘小宁,鞠晓慧. 2007. 自动观测与人工观测差异的初步分析. 应用气象学报,18(6):849-855.

温华洋,华连生,金素文,等. 2013. 基于空间一致性的双套站数据选取方法探索. 气象,39(8):1069-1075.

邬宽明. 1996. CAN总线原理和应用系统设计. 北京:北京航空航天大学出版社,187-198.

杨国胜,谢东亮,侯朝楨. 2001. 基于神经网络的传感器冗余方法研究. 传感器技术学报,(1):33-38.

苑跃,赵晓莉,王小兰,等. 2010. 相对湿度自动与人工观测的差异分析. 气象,36(2):102-108.

赵华哲,李强,杨家建. 2013. 基于最小二乘原理多传感器加权数据融合. 微型机与应用,32(12):7-10.

中国气象局. 2000. II型自动气象站(检定标准). QX/T1-2000,10-13.

中国气象局探测中心. 2012. 新型自动气象(气候)站功能需求书:数据质量控制. 北京:气象出版社,16-22.

中国质量监督检验检疫总局. 2000. 自动气象站通用技术规范,第4部分:采样和算法,1-5.

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 2012. GB/T 28592-2012. 北京:中国标准出版社,1-8.