

# 智能气象站系统框架初探

刘钧 张彬彬 吕宝磊

基于无线传感器网络的气象站系统新框架，包括两层，分别是设备层和应用层。模拟信号采集、气象要素计算和数据格式化输出等功能位于设备前端（设备层）；应用层由至少一个嵌入式系统组成，可用于实时数据收集、数据质量控制、极值统计、信息发布以及其他复杂功能。新框架的设备层聚焦于观测稳定性，而应用层关注功能扩展。随着嵌入式软件的不断丰富，地面气象观测系统将变得越来越智能。

综合气象观测是构建现代化的气象业务体系的基础，而加快实现地面气象观测自动化是综合气象观测的基础和重要组成部分。经过20年左右的快速发展，我国已经初步建成了以自动气象站为主体的较大规模的地面气象综合观测网络。华云研发并推广了两代自动气象站，目前正在致力于第三代自动气象站的研制。第一代自动气象站（图1）起步于20世纪90年代，以系统集成技术为主，采用工业上通用的数据采集器，将温度、湿度、气压、降水、风向、风速等传感器的电信号采集下来，转换为气象要素观测值，通过计算机上的上位机软件形成各种气象报文和报表，不足之处是观测要素的扩展比较困难。

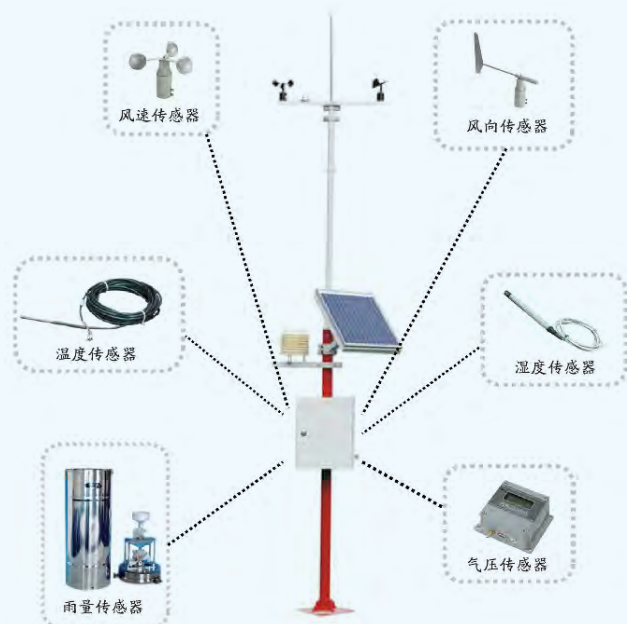


图1 CAWS600自动气象站

第二代自动气象站起步于2008年，采用了控制器局域网（Controller area network, CAN）总线的

连接方法（图2）。一个主采集器可以串接多个分采集器，使得传感器接入的灵活性大大增强，同时具备了一定的数据质量控制功能，这种专用气象装备在业务上得到了较为普遍的应用，不足之处是安装、使用比较复杂，维护成本也比较高。随着电子和信息技术的进步，气象传感器也正朝着高精度、数字化、高可靠、低功耗、微型化方向发展，尤其是物联网技术的日益成熟和大规模运用，给自动气象站的升级换代带来了新的机遇。

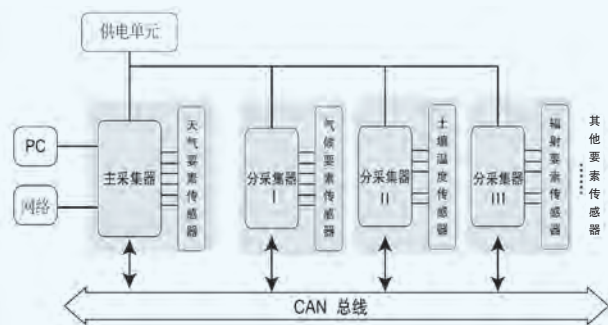


图2 基于CAN总线的CAWS3000自动气象站系统框架

得益于微机电系统（Micro-electro-mechanism system, MEMS）、片上系统（System on chip, SoC）、无线通信和低功耗嵌入式技术的飞速发展，本文基于无线传感器网络（Wireless sensor network, WSN）的基本原理和实现方法，提出了在无线传感器网络基础上构建地面综合观测系统的总体思路，设计了一款地面综合观测智能站的实现模型，可实时完成对各气象观测要素的连续采集、数据处理及传输、信息发布与分析，并可基于相应数据建模开展设备诊断和维护，为数值预报提供更快捷可靠的支撑，将地面气象观测自动化向前再推进一步，为机器观测最终替代人工观测奠定基础。

## 1 设计框架

自动气象站的一种智能化框架如图3所示，该模型显示出每个功能区的连通性，不同角色的用户可以在不同的层面介入对系统的操作。在这个新的智能化框架中，以网关为分界面，整个系统分为上下两层，上层为应用层，下层为设备层。模拟信号采集、气象要素计算和数据格式化输出等功能位于设备前端（设备层）。应用层由至少一个嵌入式系统组成，可用于实时数据收集、数据质量控制、极值统计、信息发布以及其他复杂功能。网关不属于两者中的任意一层，但却是一个非常重要的设备，上下层之间采用不同的通信协议进行通信的时候，需要配置支持相应协议的网关。

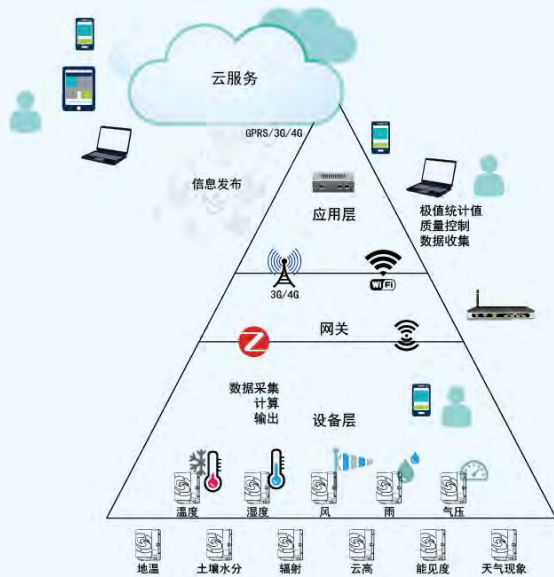


图3 新一代自动气象站的智能化框架

### 1.1 设备层

设备层以嵌入式系统为中心，外围聚集了一批智能网络化传感单元。嵌入式系统是一种专用的计算机系统，用于控制、监视或辅助完成特定的自动化或智能化任务。设备层包含一大批不同观测要素的智能网络化传感单元，而每个智能网络化传感单元都由采集模块、处理模块、通信模块和电源模块等部分构成。通过以上4个模块的协作，智能网络化传感器可以具有自检、自修正、自保护功能，计算上的判断、决策、格式化输出功能，以及通信上的双向数字通信功能。图4为设备层逻辑框图。

采集模块是传感单元的核心，传感器将反映气象要素的模拟信号转换为数字信号，不同要素具有不同的模数转换精度和延时性。处理模块由处理器、内存、存储器、接口和系统软件组成，一般采用低功

耗芯片。通信模块由射频电路和无线天线组成，负责接收和发送数据。电源模块为系统提供电源，相关电源管理软件运行在处理模块，用于动态电源管理，比如，通过休眠、低功耗运算来延长电池寿命。

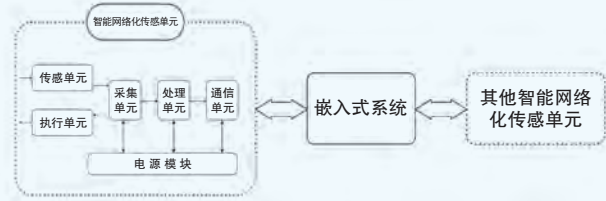


图4 设备层逻辑框图

### 1.2 应用层

应用层是应用程序与网络之间的直接接口，使得用户能够与设备进行交互，该层具有各种应用程序，可以完成和实现用户关心的各种服务功能。图5为应用层逻辑框图。

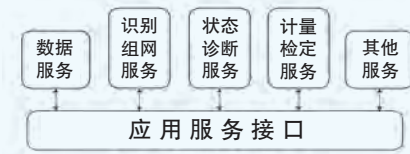


图5 应用层逻辑框图

1) 数据服务。用户建立观测系统的主要目的就是获取数据，这是应用层所要实现的关键功能。狭义的数据服务是指通过本系统建立的网络访问端口，将观测数据报文推送给用户。而广义的数据服务，可以是将本气象站纳入到一个更大的观测网络下，实现批量数据从观测系统向预报系统或气象服务系统的迁移。借助大数据分析或云平台管理，我们能实现许多以前难以想象的服务功能。广义的数据服务可以让我们离智慧气象更近一步，限于篇幅，不在这里赘述。

2) 识别和组网服务。主要用于提高自动气象站的建设者和维护者的工作效率。系统采用无线传感器网络的组成方式，事先得到授权的地面气象观测传感器能够被智能气象站自动识别，未获授权的传感器也能被系统判别和自动排除，避免非法接入。同时，采用多网关技术或双控制器热备份工作模式，传感器和终端设备能够自动选择路由接入网络，构建气象观测场可靠的无线传感器网络环境，网络中数据能够实时同步。

3) 状态和诊断服务。通过该服务接口，自动气象站的状态信息报告能够实时生成，部件故障能够自动报警，且具备数据质量控制及信息推送等功能。用户能够通过运行在各种智能终端上的诊断程序与设备



深度交互，便于现场调试和维护维修。

4) 计量检定服务。通过提供计量检定设备接口，内置计量校准参数配置模块，能够与各种自动检定装置密切配合，如雨量校准仪，便捷高效地完成各要素传感器的现场或实验室标校过程。

5) 其他服务。在这种新的架构之下，应用层的服务接口还可以不断被创造和开发出来，这正是这一新框架的魅力所在。

## 2 运用的主要技术和标准

### 2.1 运用无线传感器网络技术

WSN是一种分布式传感网络，对比传统的传感器应用方式优势明显，具有更好的精确性、灵活性、可靠性和性价比。它综合了传感器技术、嵌入式处理器技术、分布式信息集成技术和通信技术，能够远程实时监测、感知和采集网络分布区域内的各种监测对象的信息，各节点间具有自组织和协同工作的能力，可避免单点实效和实现密集空间采样。WSN中的传感器通过无线方式通信，因此网络设置灵活，设备的安装、更换和使用非常方便，还可以跟互联网进行有线或无线方式的连接。从传输特性、服务质量（Quality of service, QoS）要求、移动性等方面，为了确保WSN能连续有效地工作，其结构设计要保证网内节点的公平性，尽量实现能量的均衡分布。

物联网（Internet of things, IOT）接入技术体系可以灵活支持各种规模的WSN网络。可以由WSN节点通过分层汇聚成一定规模的WSN网络，再接入移动通信系统；也可以由移动基站直接连接带有移动终端功能的传感器，此时这些传感器既是WSN节点，也是WSN网关。IOT利用射频识别（Radio frequency identification, RFID）、WSN、无线数据通信等技术，能够构造一个广泛覆盖的巨大信息网络。

### 2.2 运用IEEE 1451标准

电气和电子工程师协会（IEEE）和美国国家标准与技术研究院（NIST）联合推出IEEE 1451系列标准，规定了传感器、转换器、机械、网络及实现兼容和互换的转换器间的公共接口，建立了通用智能化传感器的框架，解决了不同智能传感器之间的互操作性和互换性等问题，可以使得传感器制造商简化接口的设计，更加专注于传感器本身的研发。该标准促进了网络化智能传感器技术的发展，IP传感器（基于嵌入式因特网的智能传感器）在IEEE 1451标准基础上对智能传感器信息模型进行了二次开发，保留了IEEE 1451标准的智能变送器接口模块（Smart transducer interface module, STIM）结构和功能，并

对电子数据表格（Transducer electronic data sheet, TEDS）进行了扩展，以TCP/IP网络协议进行通信，降低了使用门槛和成本。

气象要素传感器输出信号类型有数字信号、模拟信号、电路参数信号等。为了使传感器模块能适应气象业务中的各种气象要素观测，STIM需要根据传感器类型实现前端信号调理电路的重构，会用到程控增益放大等电子技术。在高性能嵌入式微控制器模块的控制下，能够实现气象要素传感器信号的采集、处理以及传感器的热插拔、自动识别、自检、自校准、自调零等功能。网络适配器模块中集成的ZigBee子模块和TCP/IP子模块，能帮助智能传感器适应多种通信网络。所采用的技术路线见图6。

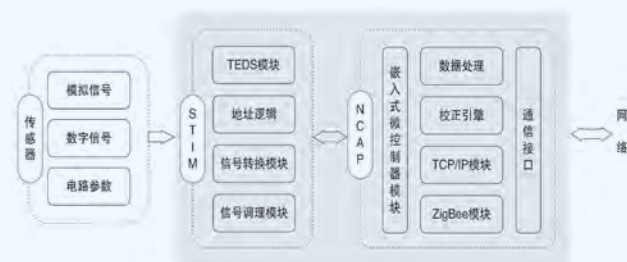


图6 传感器智能化技术路线框图

## 3 CAWSmart智能气象站

采用全新的气象站地面观测系统架构，我们研制了CAWSmart智能气象站，它全面兼容WMO CIMO指南和《地面气象观测规范》，具有完全自主知识产权。它实现了全自动地面气象数据采集、存储、处理和传送等功能，容错能力超强，具有非凡的稳定性和可靠性。

主控制器采用了嵌入式系统技术，其核心是高性能32位微处理器，能够确保系统运行的实时性。通过传感器智能化技术和主控制器技术的合理应用，构建了智能气象站系统架构可靠性的基础。产品及其构成如图7所示。

该系统能够对风向、风速、温度、湿度、雨量、气压、地温、土壤水分、冻土、蒸发、雪深、总辐射、净辐射、反射辐射、散射辐射、直接辐射、日照、云量、云高、能见度、冻雨、天气现象等气象要素进行全天候自动监测，可同时满足天气和气候观测的需要。降水类和地面凝结类天气现象可由传感器直接给出，其他类型天气现象可由系统综合判别算法给出。该系统采用了模块化设计，各个传感器可自动识别接入无线传感器网络，实现自适应智能组网，用户根据业务需要选用相关要素的传感器及辅助设备，可以很便捷地组配出适合于不同台站业务类型的专业观测站。系统关键技术之一的传感器智能化技术，具备



图7 CAWSmart智能气象站、数据收集中心软件及APP

自动调零、补偿、校准、质量控制、设备状态报告和自诊断等功能，采用低功耗、高精度、高稳定性的电子测量技术和短距离无线通信技术，为地面气象观测从自动化升级换代到智能化奠定了坚实的基础。产品测量性能指标见表1。

该系统对比传统自动气象站具有如下新的特点和优势：

1) 模块化更彻底，对数据采集器单元、传感器处理单元进行了智能化封装，并实现了包括数据采集

表1 传感器测量技术指标

| 测量要素   | 气温      | 相对湿度                            | 气压           | 降水量                  |                                     | 风速           | 风向                                     | 地面温度    | 土壤温度                    |       |
|--------|---------|---------------------------------|--------------|----------------------|-------------------------------------|--------------|--|---------|-------------------------|-------|
| 测量范围   | -60~60℃ | 5%~100%                         | 450~1100 hPa | 翻斗<br>雨强: 0~4 mm/min | 称重<br>0~400 mm                      | 0~75 m/s     | 0~360°                                 | -50~80℃ | -50~80℃                 |       |
| 分辨率    | 0.01℃   | 1%                              | 0.1 hPa      | 0.1 mm               | 0.1 mm                              | 0.1 m/s      | 3°                                     | 0.1℃    | 0.1℃                    |       |
| 最大允许误差 | ±0.1℃   | ±3% (≤80%)<br>±5% (>80%)        | ±0.25 hPa    | ±0.4 mm (≤10mm/时)    | ±4% (>10mm/时)                       | ±0.1 FS      | ±0.5 m/s (≤5 m/s/时)<br>±10% (>5 m/s/时) | ±5°     | ±0.5℃                   | ±0.3℃ |
| 测量要素   | 土壤水分    | 蒸发                              | 雪深           | 云量                   | 云高                                  | 能见度          |  | 日照时数    | 辐射                      |       |
| 测量范围   | 0~100%  | 0~100 mm                        | 0~150 cm     | 0~100%               | 0~15 km                             | 10 m~35 km   |  | 0~24 h  | 0~2000 W/m <sup>2</sup> |       |
| 分辨率    | 1%      | 0.1 mm                          | 0.1 cm       | 1%                   | 10 m                                | 1 m          |  | 1 min   | 5 W/m <sup>2</sup>      |       |
| 最大允许误差 | 5% (田间) | ±0.2 mm (≤10 mm)<br>±2% (>10mm) | ±1 cm        | ±5%                  | ±10 m, (≤100 m/时)<br>±10% (>100m/时) | ±10%<br>±15% | 10 m~10 km<br>10~35 km                 | ±0.1 h  | ±5% (日曝辐量)              |       |

器单元、传感器处理单元部件的自动识别、自动接入、自动检查等功能。

2) 安全性更强，运用了标准通信协议栈技术以及微电子芯片技术固化标准通信协议栈，进一步提高数据处理的统一性和安全性。

3) 监控更便捷，采用自检、自诊断、自校准技术，提升了数据采集器和传感器的监控功能，大大加强了地面观测站的维护保障能力。

4) 充分运用物联网技术构建气象专用无线传感器网络、专用的嵌入式操作系统和数据传输协议，实现灵活组网。

5) 结构设计更合理，便于安装和部署，满足恶劣环境条件下全天候不间断运行。

#### 4 小结

智能化观测技术有可能彻底改变目前自动气象站观测系统的布局 and 观测业务的管理运行方式，尤其是在观测自动化、无人值守、计量检定业务管理方面会产生质的飞跃，进而显著提高气象观测数据有效性、准确性，减少观测人员的数量和劳动强度；完成的新观测方法研究和新技术产品的定型，对于推进地面气象观测全自动化的发展进程能够起到非常重要的作用。

本文设计的基于WSN的地面综合观测系统可靠性高、功耗低、扩展性好、成本可控，能够及时有效地获取各种地面观测要素数据。无线传感器地面综合观

测模型，能有效地监测各种地球表面气象环境要素，为地球综合观测系统的构建提供一种新的技术手段，具有强劲的发展潜力，推广应用可望产生巨大的社会效益，具有广阔的应用前景；因其代表了融合的趋势，蕴含着融合所带来的巨大创新空间，以及融合后产生的巨大价值。

致谢：本文由国家重大科学仪器设备开发专项（2012YQ110205）资助。

#### 深入阅读

Baronti P, Pillai P, Chook V W, et al., 2007. Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. *Computer Communications*, 30: 1655-1695.

Elmenreich W, Pitzek S, 2003. Smart transducers-principles, communications, and configuration. *Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems*, (3): 510-515.

Guo W, Healy W M, Zhou M, 2012. Impacts of 2.4-GHz ISM band interference on IEEE 802.15.4 wireless sensor network reliability in buildings. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 61: 2533-2544.

Higuera J, Polo J, Gasulla M, 2009. A ZigBee wireless sensor network compliant with the IEEE1451 standard. SAS2009, New Orleans, LA, USA: IEEE Sensors and Applications Symposium.

Ojha T, Misra S, Raghuvanshi N S, 2015. Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118: 66-84.

(作者单位：华云升达(北京)气象科技有限责任公司)