

引 用 格 式: Bai Yulong, Dong Cunhui, Shan Jiming, *et al.* Design and Implementation of Eco-hydrological Data Acquisition System based on SDI-12 Bus[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(3): 453-458. [摆玉龙, 董存辉, 单吉明, 等. 基于 SDI-12 总线的生态水文数据采集系统设计与实现[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(3): 453-458.]

# 基于 SDI-12 总线的生态水文数据采集系统设计与实现

摆玉龙<sup>1</sup>, 董存辉<sup>1</sup>, 单吉明<sup>1</sup>, 王作成<sup>1</sup>, 晋 锐<sup>2</sup>, 亢 健<sup>2</sup>

(1. 西北师范大学物理与电子工程学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**介绍了一种土壤温湿度、盐度、电导率等生态水文数据采集系统。该系统以单片机为核心控制单元, 结合土壤参数传感器, 设计了传感器接口电路、通信时序控制、SD 卡存储电路及显示电路等; 同时根据黑河生态水文传感器网络试验对实验的要求, 实现了基于 SDI-12 总线的数据采集器和传感器之间的通信协议, 以及生态水文数据的测量、存储及传输。在此基础上, 结合网络通信和流域数据管理平台, 可以实现完整的生态水文无线传感器网络。

**关 键 词:** 数据采集系统; SDI-12 总线; 土壤参数传感器

**中图分类号:** TP 391.8      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-0323(2013)03-0453-06

## 1 引 言

“黑河生态—水文过程综合遥感观测联合试验”(Heihe Water Allied Telemetry Experimental Research, Hi-WATER)是由国家自然科学基金委员会于 2010 年正式启动的重大研究计划“黑河流域生态—水文过程集成研究”中的重要组成部分<sup>[1-2]</sup>。生态水文传感器网络是 Hi-WATER 的基础试验之一, 其目的是建立自动化、智能化、时空协同和各观测节点远程可控的生态水文传感器观测网络, 定量刻画流域尺度关键生态水文变量的时空动态及不确定性。作为传感器网络的核心组成部分, 数据采集和管理平台要求实现系统的实时监控、数据双向通信和观测数据的采集、存储、组织和可视化等功能。传统的生态水文数据采集系统一般采用 RS232、RS485、RS422 和 CAN 等接口标准。相比而言, SDI-12(Serial Digital Interface at 1200 Baud)总线不仅规定了硬件电气接口协议, 同时也规定了通信协议, 这使得该总线在生态水文无线传感器网络等应用场合中更具有优势。SDI-12 是近年来美国和

欧盟环境和海洋仪器设备供应厂商广泛使用的一种串行数据通讯接口标准。早在 20 世纪 90 年代, 石明华<sup>[3]</sup>就分析了在我国水利水文多参数测量系统中应用该技术的必要性和重要性。近年来, 在该接口标准的支持下, 我国已在水文、气象和农业等方面实现了多种数据采集和测控系统。例如, 程序等<sup>[4]</sup>介绍了一种基于 SDI-12 的智能温湿度传感器系统的设计。本文结合黑河生态水文传感器网络试验的要求, 设计并实现了一种基于 SDI-12 接口远程无线数据采集系统原型, 实现时空变异性较强的关键生态水文要素, 例如降水、土壤水分等数据的实时采集与传输。该系统具有集成成本低、可连接多个传感器和仪器通信功耗低等优点。

## 2 系统总体设计

生态水文数据采集系统主要包括数据采集与管理平台、网络通信和流域数据管理平台等, 如图 1 所示。数据采集与处理子系统采用单片机为主控模块, 实时采集传感器信息并对信息进行显示和存储。网络通信中的 GPRS 模块采用 SIM300, 该模块内部集

成了 TCP/IP 协议栈,使用户方便利用该模块开发数据传输设备。GPS 系统的主要目的是获得数据采集点所在位置的经纬度信息以及授时。数据库服务器采用 B/S 架构利用虚拟专用服务器 VPS(Virtual Private Server)技术,将一部服务器分割成多个虚拟专享

服务器。每个 VPS 都可分配独立公网 IP 地址、独立操作系统、独立内存、独立 CPU 资源和独立系统配置等。数据库服务器采用 SQL Server 2005,数据库访问采用 JDBC 方式。限于篇幅,文中着重介绍了 SDI-12 总线接口的软硬件实现方式。

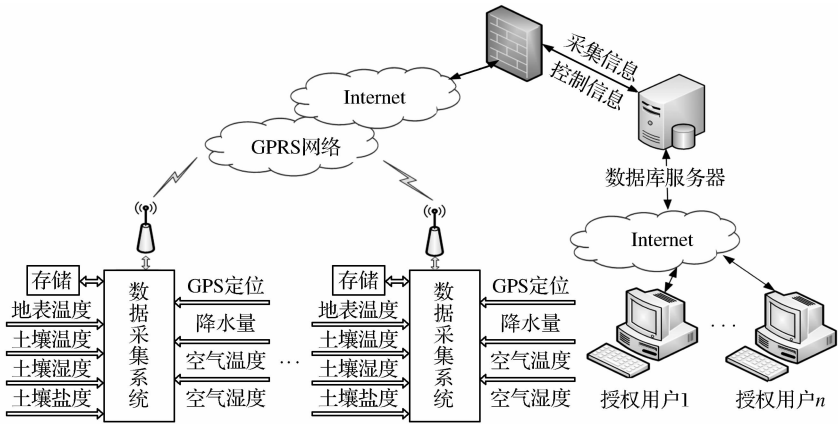


图 1 系统总体框图

Fig. 1 Overall block diagram of the system

3 硬件电路设计

数据采集与管理系统采用模块化设计思路。图 2 给出了整个系统硬件组成框图,其中包括数据采

集模块、电源管理模块、单片机模块、串口调试模块、SD 卡模块和液晶显示模块等。单片机处理器采用飞思卡尔公司生产的 MC9S12XS128 芯片。测量土壤属性的传感器采用美国 Steven 公司生产的 Hydra Probe II Soil Sensor 传感器。图 2 中单线箭头代表供电电流方向,粗箭头代表信息流向。

该传感器可以测量土壤温度、土壤水分、土壤电导率和介电常数等 20 多个地学参数。1990 年以来美国农业部土壤气候分析网 SCAN(The US Department of Agriculture Soil Climate Analysis Network)已广泛使用该传感器进行测量。因此,在某种程度上,它不仅是一种实用的测量设备,也是一种科学仪器,可以依靠特有的 Hydra 探针提供精确的土壤参数数据。接口电路数字输出分为 RS-485 接口

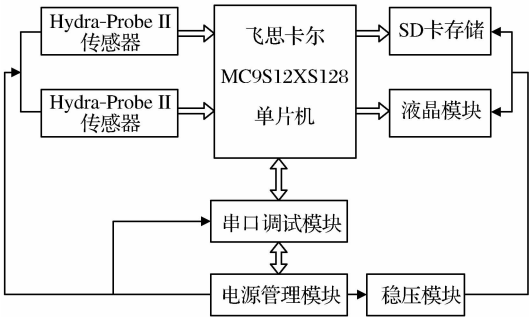


图 2 硬件设计框图

Fig. 2 Schematic of Hardware design

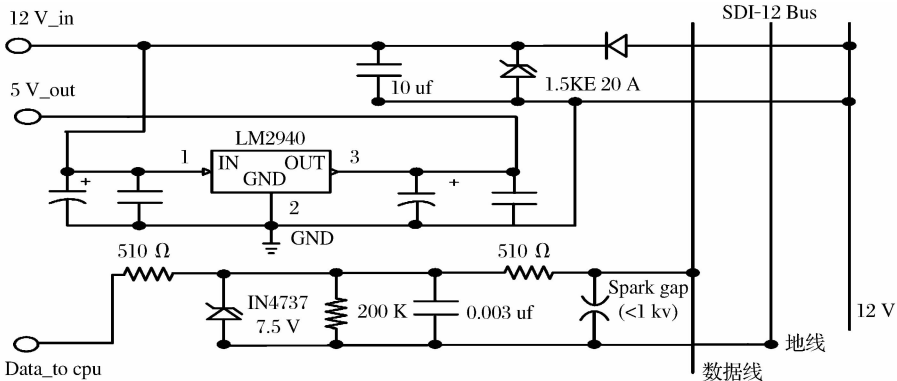


图 3 SDI-12 传感器接口电路设计

Fig. 3 SDI-12 sensor interface circuit design

和 SDI-12 接口两类。图 3 是文中设计的 SDI-12 接口电路。接口电路中增加了必要的电源电路等,以便和单片机连接形成数据采集控制系统。同时,该电路带传输保护,可将多个传感器连接使用。

4 软件设计

文中利用 CodeWarrior IDE 集成开发环境,采用 C 语言编写系统软件,主要包括传感器数据采集、SD 卡存储、液晶显示、GPS 数据接收、GPRS 和远程服务器通信等。文中主要对 SDI-12 通信协议的数据采集部分进行详细介绍。

4.1 SDI-12 总线介绍

SDI-12 通讯标准是由美国水文组织提出的一种串行数据通讯接口协议。它是一种在一根数据线上进行双向半双工数据交换的单总线,波特率为 1 200 Baud。同时,标准的接口方式使数据采集器(简称数采)可连接智能传感器,最大限度发挥电池电力的作用,有利于无线传感器网络的野外布设。

在智能化方面,SDI-12 具有独特的自身校准运算法则。传感器所需电能可由接口电路提供,因此不需要额外的电缆。传感器使用低消耗的 EEP-

ROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) 标定相关系数和其他信息。通过 SDI-12 总线,一个数据采集器可编址范围为 62 个,每个传感器电缆线链接长度可达 60.69 m。当传感器数目较少时,链接长度可以相应地增长。

4.2 通信协议及实现

数据采集器和传感器之间的通信是按照在数据总线上交换 ASCII 码信息实现的。数采定时发送命令唤醒在数据线上的所有传感器,一个请求在数据线上的持续时间最短为 12 ms。传感器收到正确命令后,按数据格式返回对应值。每条控制命令开始的字节为不同传感器的地址,这个地址表示数采选择通信的传感器,而其他传感器忽略这条命令返回待机模式。表 1 给出了 SDI-12 总线数据传输时的逻辑电平。图 4 为通信协议时序图,该时序图为负逻辑。

表 1 串行数据逻辑电平  
Table 1 Logic voltage for serial data

状态	二进制码	电压范围
Marking	1	-0.5~1.0 V
Spacing	0	3.5~5.5 V
Transition	未定义	1.0~3.5 V

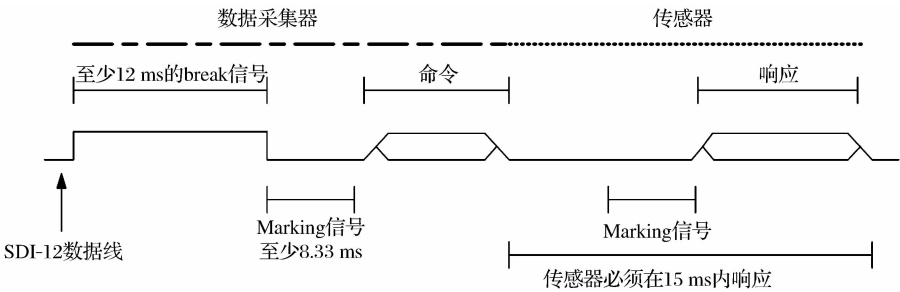


图 4 通信协议时序图  
Fig. 4 Timing diagram of communication protocol

总线上的传感器根据主机发送的地址和命令做出不同的响应。如果和自己定义的地址相同,则根据命令返回一个或者多个测量结果。

4.3 软件流程图

SDI-12 通信协议的软件流程如图 5 所示。文中采用 3 个定时器实现通信协议。其中定时器 1 主要用于接收和发送每一位二进制数据位。按照波特率 1 200 Baud 的要求,每一位的定时为 833  $\mu$ s。定时器 2 主要用于限定每次重试的时间,如果在 112.5 ms 内传感器没有回应,说明通信失败,将释放总线。定时器 3 用于判断传感器是否休眠。每次通信过程使用内外两层循环各 3 次。若通信成功,则返回“1”并返回测量结果;否则,返回

“0”说明通信失败。由于该总线为单总线,采集器在读取传感器发送的每一位二进制电平信号时,无明显的上升沿或下降沿等标志信号。因此如何确保在每一位二进制数据稳定的时候进行读取操作是通信成功的关键。文中通过将每一位二进制信号定时读取时,增加 300  $\mu$ s 的延时,解决了这个问题。因为每一位二进制位的总线持续时间为 833  $\mu$ s。当 833  $\mu$ s 的定时结束,恰好是下一位数据位的总线时间,此时数据总线处于跳变状态,不利于读取数据,增加 300  $\mu$ s 延时可以确保数据处于总线稳定状态。另外延时和定时器是并行工作的,所以延时不会影响后续数据位的读取。实验表明,该方法可以高效准确地获取传感器数据。

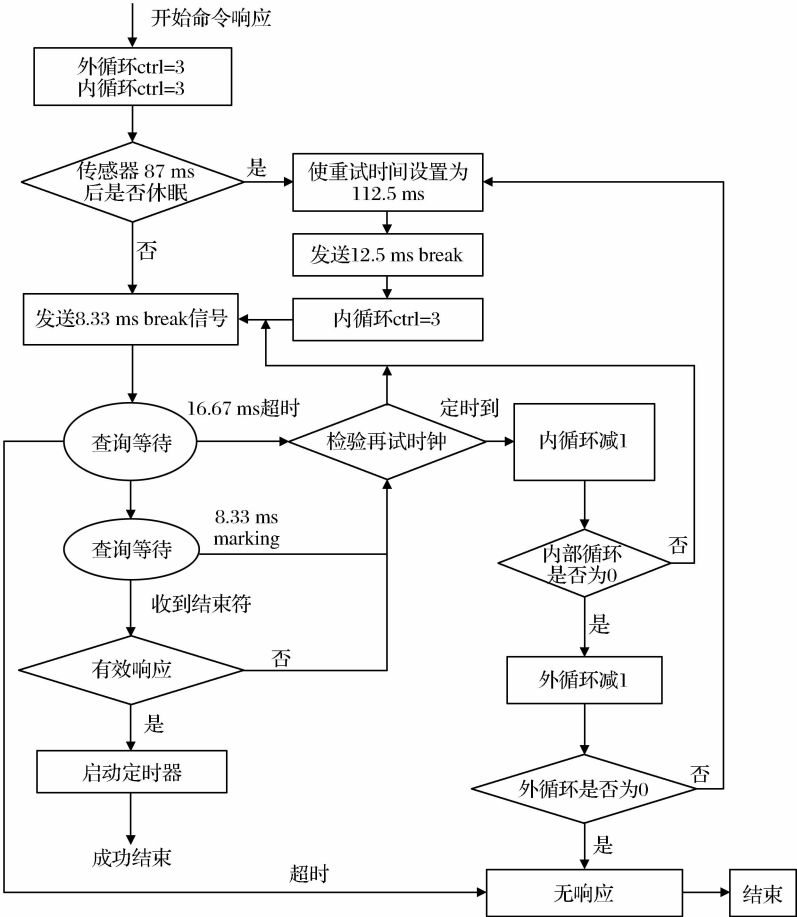


图 5 SDI-12 通信协议流程图

Fig. 5 Flow chart of SDI-12 communication protocol

5 实验结果

5.1 通信协议具体实现

在图 4 所示的通信协议时序图基础上,SDI-12 总线的通信数据格式为 1 位起始位、7 位数据位、1 位偶校验位和 1 位停止位。其中,起始位为高电平,停止位为低电平。另外由于该总线为负逻辑,所以需要 对 7 位数据位进行反码操作后再发送。同样,当数据采集器发送命令后传感器响应数据也为负逻辑,真实数据的获得需要对接收的 7 位数据位的每

一位进行求反操作来实现。当数据采集器或者传感器释放总线后,总线为低电平。

表 2 为命令测试数据分析表,该条命令为测试传感器地址命令。文中所用的传感器地址设置为 C。每条命令以“!”结束,接收到的数据以<CR><LR>结束,其中 CR、LR 表示回车换行的 ASCII 码值。每位 ASCII 码由低位到高位顺序发送。由起始位、数据位、校验位和停止位每个 ASCII 码对应 10 个二进制位组成。校验方式采用偶校验,即 7 位数据位加校验位中高电平 1 的个数为偶数。

表 2 收发数据表  
Table 2 Send and receive data sheet

状态	ASCII 码	十六进制	二进制	对应 7 位反码	校验位	加开始、停止和校验位
发送命令	?!	0X3F	0011,1111	100,0000	1	01100,00001
		0X21	0010,0001	101,1110	1	01101,11101
		0X43	0100,0011	011,1100	0	00011,11001
接收数据	C<CR><LR>	0X0D	0000,1101	111,0010	0	00111,00101
		0X0A	0000,1010	111,0101	1	01111,01011

对于表 2 中的地址测试命令,图 6 给出了严格按照 SDI-12 协议时序的理论分析图。其中,不同颜色代表不同的状态。在硬件测试中,利用示波器获

得数据线上的相应状态,如图 7 所示。通过两幅图的比较可以发现理论分析和实验测试结果完全吻合,进而验证了时序设计的正确性。

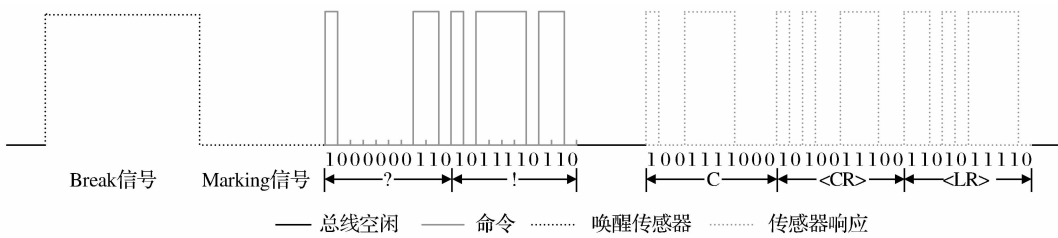


图 6 理论分析波形图

Fig. 6 Waveform chart from theoretical analysis

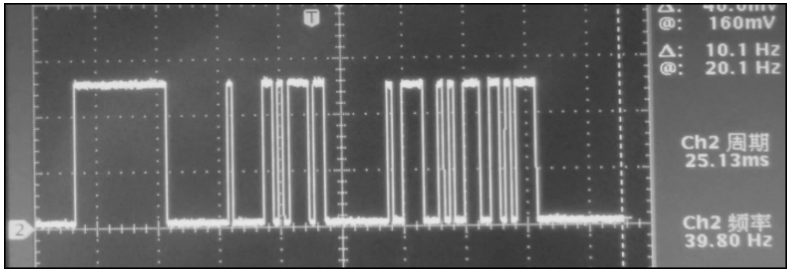


图 7 实验测试整体波形

Fig. 7 Overall waveform of experimental test

5.2 数据采集测试

图 8 和图 9 分别为测试传感器测量命令和结果显示。其中,receive\_dat 和 receive\_over 之间为数采一次通信接收到的数据。图 8 显示 4 次通信输出结果,所用命令依次为“CXM = 2”、“CM2!”、“CD0!”、“CD1!”。CFGHOJI 表示地址为 C 的传感器所测量的土壤温度、华氏温度、土壤湿度、土壤电导率、校正电导率和电损耗。C0025 表示地址为 C 的传感器在 2 s 内将返回 5 个测量结果。“C+21.9+71.5+0.000 C+0.001+0.001+3.425”为测量结果,依次为土壤温度、华氏温度、土壤湿度、土壤电导率、校正电导率和电损耗。结果表明,文中设计的数据采集系统能够正确采集所需要的传感器

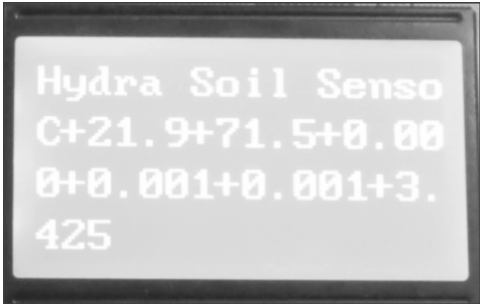


图 9 液晶屏调试显示

Fig. 9 LCD debug display

信息,详细的命令可以参考文献[5]。

6 结 语

本文介绍了基于 SDI-12 总线的生态水文数据采集系统的软硬件设计及实现方法。鉴于篇幅限制,着重对 SDI-12 数据总线的接口电路、协议和常用命令进行了详细分析和验证。经过测试表明,该系统能够实时采集土壤的温湿度、电导率和电损耗等生态水文信息,并能通过液晶屏实时显示。结合网络通信和流域数据管理平台,可以实现完整的生态水文无线传感器网络[6]。



图 8 串口调试输出

Fig. 8 Serial debug output

致谢:感谢中国西部生态与环境科学数据中心(ht-

tp://westdc.westgis.ac.cn)。感谢陈雪停在协议实现过程中给予的建议和帮助!

#### 参考文献 (References):

- [1] Li Xin, Li Xiaowen, Li Zengyuan, *et al.* Progresses on the Watershed Allied Telemetry Experimental Research (WATER) [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(5): 637-649. [李新, 李小文, 李增元, 等. 黑河综合遥感联合试验研究进展: 概述[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(5): 637-649.]
- [2] Li X, Cheng G D, Liu S M, *et al.* Heihe Watershed Allied Telemetry Experimental Research (HiWATER): Scientific Objectives and Experimental Design [J]. Bulletin of American Meteorological Society, 2013. doi: 10.1175/BAMS-D-12-00154.
- [3] Shi Minghua. Initial Ideas about Our Application of SDI-12 Interface Standard [R]. The Nanjing Hydraulic Hydrological Automation Institute, 1990: 14-16. [石明华. 关于我国应用 SDI-12 接口标准的初步设想 [R]. 南京水利水文自动化所研究报告, 1990: 14-16.]
- [4] Cheng Xu, Chen Xiangfei. Design of Smart Temperature and Humidity System based on SDI-12 [J]. Electronic Component & Device Applications, 2009, 11(12): 23-25. [程序, 陈向飞. 基于 SDI-12 的智能温湿度传感器系统设计 [J]. 电子元器件应用, 2009, 11(12): 23-25.]
- [5] The Hydra Probe Soil Sensor Comprehensive Stevens Hydra Probe Users Manual [S]. 2007.
- [6] Jin Rui, Li Xin, Yan Baoping, *et al.* Introduction of Eco-hydrological Wireless Sensor Network in the Heihe River Basin [J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(9): 993-1005. [晋锐, 李新, 阎保平, 等. 黑河流域生态水文传感器网络设计 [J]. 地球科学进展, 2012, 27(9): 993-1005.]
- [7] SDI-12 Support Group, Inc. SDI-12 A Serial-Digital Interface Standard for Microprocessor-based Sensors Version 1.3 [EB/OL]. <http://www.sdi-12.org/specification.php/>, January 26, 2013.
- [8] Stevens Water Monitoring. Comprehensive Stevens Hydra Probe Users Manual [S]. 2007.
- [9] Shao Beibei. Online Development Methods for Embedded Microcontroller Application [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004. [邵贝贝. 单片机嵌入式应用的在线开发方法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.]
- [10] Freescale Semiconductor, Inc. MC9S12XS256 Reference Manual [EB/OL]. <http://www.freescale.com/zh-Hans/05/2009,2011>.

## Design and Implementation of Eco-hydrological Data Acquisition System based on SDI-12 Bus

Bai Yulong<sup>1</sup>, Dong Cunhui<sup>1</sup>, Shan Jiming<sup>1</sup>,  
Wang Zuocheng<sup>1</sup>, Jin Rui<sup>2</sup>, Kang Jian<sup>2</sup>

(1. College of Physics and Electrical Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** This paper gives an introduction about a new kind of data acquisition system which can collect certain kinds of eco-hydrological data such as soil temperature, humidity, salinity and conductivity. The system is based on microcontroller. The sensor interface circuits, communication timing control circuits, SD storage circuits and display circuits were designed for the Hydra Probe II soil property sensor. Based on the requirements of Eco-hydrological wireless sensor network in Heihe river basin, the communication protocol between data acquisition systems and the sensors were realized by SDI-12 bus. The Eco-hydrological data can be measured, stored and transferred by the proposed system. Combined with Network communication and Watershed data management platform, an eco-hydrological wireless sensor network can be easily realized.

**Key words:** Data acquisition system; SDI-12 bus; Soil property sensor