

# 基于LSTM的岛礁战场气象环境远程感知技术

桑德一<sup>1</sup>,高绍忠<sup>2</sup>,陆巍巍<sup>1</sup>,姚刚<sup>1</sup>

(1.海军航空大学,山东烟台264001;2.91697部队,山东青岛266002)

**摘要:**复杂的地理环境和海洋环境导致岛礁战场气象环境瞬息万变,直接影响岛礁作战指挥决策和武器装备的作战效能。为了实时准确感知岛礁战场各个点位的气象环境信息,实现指挥平台对岛礁战场气象环境的实时监控和有效预测,文章对远程感知技术和温度预测方法进行了研究,并依托Labwindows/CVI软件平台开发了一套岛礁战场气象环境远程感知软件,软件可实时感知岛礁战场的多种气象环境数据,并根据LSTM模型进行温度参数的短时预测。多次实地运行测试证明,软件的设计满足预定需求,温度预测结果与实测结果误差在要求范围内。

**关键词:**岛礁战场气象环境;远程感知;虚拟仪器;Labwindows/CVI;LSTM

**中图分类号:**TP273+.5

**文献标志码:**A

岛礁上的气象环境和陆地上不同,岛礁上湿度大、盐度高、太阳辐射强,天气复杂多变,这样的自然环境势必会影响到作战指挥和武器效能的发挥。因此,实时掌握岛礁战场的气象环境至关重要。

全球的军事斗争形势复杂多变,战争模式已经开始向信息化、局部化和智能化的方向发展<sup>[1-2]</sup>。在这样的战争环境下,更快的传输速度,更方便的运用形式,更高可靠性的战场感知网络,更具体、更精确的战场气象环境数据成为打赢现代战场的重要基础和根本保障<sup>[3-4]</sup>。全球多国都投入大量资金和人力研究战场数据的采集和远程感知系统,其目的是实现对战场环境的更好感知,让战场的数据迅速传递给指挥层,成为信息优势,指挥层依据战场环境数据做出正确的指挥决策,从而形成作战优势<sup>[5-7]</sup>。

虚拟仪器是以计算机为平台,结合模块化、高性能的采集、测量硬件来完成各种数据的采集、测量、处理和显示的软件技术<sup>[8-9]</sup>。虚拟仪器技术可以通过平台编程进行仪器的自主定义,包括界面、操作、显示面板等。它可以充分调动计算机的运算资源,统一标准的软件、硬件也能满足定时和同步的需求,让原本硬件实现的功能软件化、让原本单一的方式灵活化<sup>[10-11]</sup>。

Labwindows/CVI是美国虚拟仪器公司(National Instruments)出品的一款用于测量控制领域的计算机虚拟显示仪器开发平台<sup>[12]</sup>。此平台以C语言为编程语言,集成了丰富的C语言库函数,其功能强大、操作便捷的特点使得该产品在测量控制领域有着广泛的应用<sup>[13-14]</sup>。

本文选用Labwindows/CVI作为虚拟仪器开发平

台,设计了一套岛礁战场气象环境远程感知软件。可实时监控岛礁战场的气象环境信息,实现重要环境参数的趋势预测,实现对战场气象远程感知系统的远程控制和设备状态监视。

## 1 基于LSTM的温度预测

### 1.1 长短期记忆网络LSTM模型

岛礁海洋环境和地理环境复杂,岛礁不同地点的气象数据会不相同。为此,可在岛礁战场的多个地点布置多套数据采集设备,进行不同测点的气象环境数据监测。岛礁战场某测点的温度是随着昼夜交替周期性变化的,并且受空气湿度、光照强度、风速、降雨、周围测点温度等因素的影响,是典型的时间序列数据。

进行时间序列数据预测的一个最有效的工具是循环神经网络模型(Recurrent Neural Network, RNN),它的隐含层节点状态可以记忆任意长度的时间序列数据。这几年,RNN在图像识别、语音识别、特征提取、分类和自然语言处理等方面取得了优异的成绩。但是RNN在处理时间序列时,对长时间间隔节点的计算存在梯度爆炸或梯度消失的问题,长短期记忆网络(Longshort-Term memory, LSTM)预测模型作为RNN的一个变种,与其他神经网络相比,RNN的输出层结果不仅与当前输入层有关,而且与上一次迭代的隐含层结果有关,这就相当于让时间序列有了一定的记忆功能。在进行温度预测时,LSTM预测模型对温度的变化趋势比较敏感,对处理长时间间隔的时间序列节

点比RNN效果好,使温度预测精度有了很大提高。

### 1.2 构建LSTM神经网络

训练神经网络的第一步是生成数据集,作为训练网络的输入。当前测点某一段时间之后的温度值与以下几个参数有关:当前测点的当前时刻温度、临近测点的当前时刻温度、当前测点的风速、当前测点的湿度、当前测点的光照强度、当前测点的降水量。表1是温度预测需用的变量名称及相应的符号表示。

表1 温度预测模型的变量说明

Tab.1 Variable description of temperature prediction model

变量名	符号
当前测点当前时刻的温度值	$T_0$
临近测点 <i>i</i> 当前时刻的温度值	$T_i (i = 1, 2, \dots, m)$
当前测点的风速	$v$
当前测点的湿度	$h$
当前测点的光照强度	$l$
当前测点的降水量	$b$

收集每个测点的以上数据,并用这些数据生成每个测点的神经网络数据集,进行各个测点的温度预测。以上数据采集的时间间隔为*r*,在时刻*t*,所有数据组成的向量用*P(t)*表示:

$$P(t) = (t, T_0, T_1, \dots, T_n, v, h, l, b)$$

LSTM网络的输入层是三维数据[samples, time\_steps, features]。其中,samples代表训练样本的数量;time\_steps代表时间的步长,即与当前数据有关的历史输入数据;features代表特征值,即向量*P(t)*。

使用最近的*R*个网络状态来预测*K*时刻之后的测点温度,参数设置为:time\_steps=*R*,设预测时间*K*是数据采样间隔*r*的整数倍,即*k=K/r(K=1,2,⋯)*。也就是说,根据时刻*t*的温度及其最近的*R*个历史温度数据,来预测时刻*t+k*的测点温度。若用*f<sub>k</sub>*表示待求解的模型,*T<sub>t+k</sub>*表示*t+k*时刻当前测点的温度,则预测行为可以表示为:

$$T_{t+k} = f_k(P(t-R+1), P(t-R+2), \dots, P(t-1), P(t))。$$

*f<sub>k</sub>*函数的输入输出数据对,构成了温度预测数据集的输入和输出。即,

$$\langle (P(t-R+1), P(t-R+2), \dots, P(t-1), P(t), T_{t+k}) \rangle$$

构成了一层神经网络的输入输出数据对。

LSTM用3个门限作用在RNN的节点上,来控制历史网络的记忆状态对当前网络计算结果的影响程度。图1是LSTM的结构示意图。

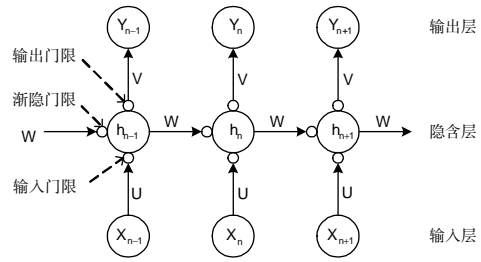


图1 LSTM的结构示意

Fig.1 LSTM structure diagram

图1中,3个小圆圈表示添加的3个门限;*X<sub>n</sub>*和*Y<sub>n</sub>*表示一次输入输出数据对,*U*、*V*、*W*表示权重,*h<sub>n</sub>*表示隐含层的状态,*h<sub>n</sub>*不仅与*X<sub>n</sub>*有关,而且与前*R*个隐含层输出有关。

3个门限作用分别为:渐隐门限(forget gate)控制有多少个历史隐含层状态*h<sub>n-1</sub>*影响当前时刻*h<sub>n</sub>*;输入门限(input gate)控制有多少个当前时刻的输入值*X<sub>n</sub>*保存到隐含层状态*h<sub>n</sub>*;输出门限(output gate)控制有多少个隐含层状态*h<sub>n</sub>*输出到当前时刻的输出值*Y<sub>n</sub>*。

3个控制门限组成了LSTM神经网络的基本单元。图2是LSTM神经网络一个基本单元的结构,其中,*h<sub>n</sub>*代表当前单元状态,*f<sub>n</sub>*代表渐隐门限,*i<sub>n</sub>*代表输入门限,*o<sub>n</sub>*表示输出门限。

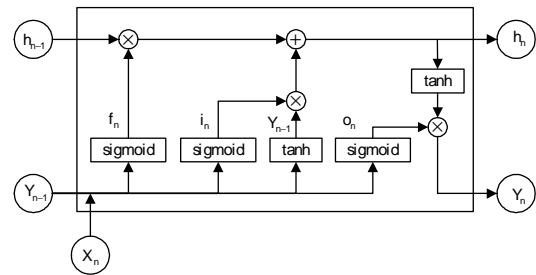


图2 LSTM神经网络的基本结构

Fig.2 Basic structure of LSTM neural network

当前单元输出:

$$h_n = h_{n-1} f_n + i_n \tanh(W_c X_n + U_c Y_{n-1} + b_c) ;$$

当前单元状态:

$$y_n = o_n \tanh(h_n) ;$$

渐隐门限 *f<sub>n</sub>* 可表示为:

$$f_n = \delta(W_{f,x} X_n + W_{f,y} Y_{n-1} + b_f) ;$$

输入门限 *i<sub>n</sub>* 可表示为:

$$i_n = \delta(W_{i,x} X_n + W_{i,y} Y_{n-1} + b_i) ;$$

输出门限 *o<sub>n</sub>* 可表示为:

$$o_n = \delta(W_{o,x} X_n + W_{o,y} Y_{n-1} + b_o) 。$$

其中,  $\delta$  代表 sigmoid 函数,该函数作用在 3 个门限上,  $\delta$  的输出是  $[0, 1]$ ,它控制相应的信息是否应该通过本级网络,1 表示让所有信息通过,0 表示不允许信息通过。而  $\tanh$  函数作用在了当前状态和输出。 $W$  代表权重,例如,  $W_{i,x}$  表示输入门限对应的上一状态的输出信息的权重,  $b$  代表偏置。

### 1.3 温度预测结果验证

采集了 1 号测点从 06:00 到 18:00 共 12 h 的气象数据(包括多个测点的温湿度、风速、光照、降水等数据),数据采集间隔是 60 s。用 06:00 到 12:00 的数据对 LSTM 网络模型进行训练,用 12:00 到 18:00 的数据进行测试和修正。LSTM 预测模型的参数设置为:  $R=60$ ,  $K=1800$  s,即根据前一小时的历史数据预测

距离当前时刻 30 min 以后的温度值。

图 3 是 1 号测点的 30 min 温度预测结果(从 12:00 到 18:00 的温度值)。红线代表实测温度,黑线代表预测温度。从图 3 中可以看出,预测结果与实测结果保持一致,经计算,该预测模型的最大误差为  $0.25^{\circ}\text{C}$ , RMSE 值为 0.036。LSTM 预测算法能够精确地预测 1 号测点的 30 min 温度。

经过多次不同参数的运行试验,当  $K$  取值越小时,预测结果越精确,即越近时刻的温度越容易预测。但  $R$  的取值并不是越大或越小越好,而是有一个最优值,且这个值与温度的变化剧烈程度有关,当温度变化缓慢时,  $R$  越大预测结果越精确,反之,当温度变化快时,  $R$  越大,预测结果越不准确。

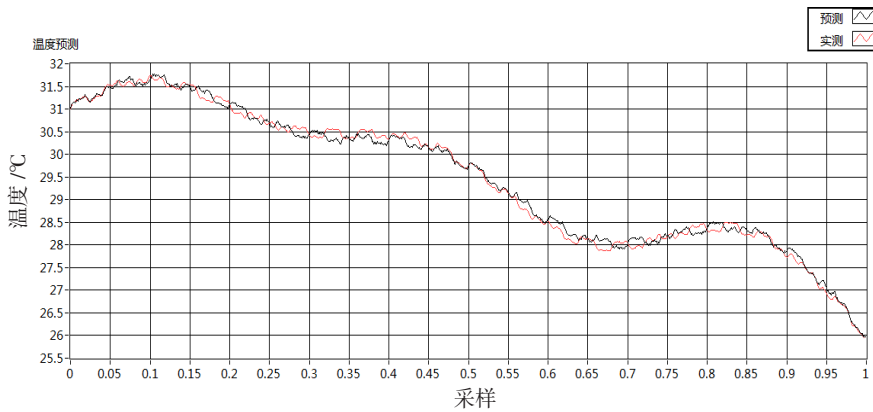


图3 温度预测结果验证

Fig.3 Verification of temperature prediction results

## 2 总体设计

### 2.1 功能模块设计

软件运行环境是监控室的工控机系统,用于岛礁战场气象环境的实时感知,须完成气象数据的实时采集、数据可视化、重要参数趋势预测、历史数据查询、远程控制和设备状态监视等功能。为此,设计了 6 个功能模块,分别是人机交互模块、数据可视化模块、TCP 通信模块、数据采集与处理模块、状态反馈模块和终端控制模块。

软件的功能设计图如图 4 所示。

1) 人机交互模块。实现整套系统与指挥人员的交互,指挥人员能通过操作界面对软件的各种功能进行选择,战场气象环境数据采集模块通过此模块接受指挥人员的控制。

2) 数据可视化模块。主要功能是以多种形式展示战场气象环境的各类数据,指挥人员既可以查看不

同测点的各类环境数据,又可以查看同类环境数据在整个岛礁战场的全局信息。

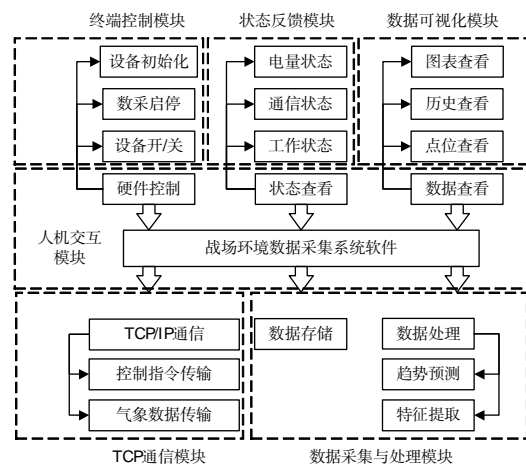


图4 软件模块设计

Fig.4 Software function design diagram

3) TCP 通信模块。主要功能是以 TCP/IP 协议完

成工控机与采集终端的通信,保证数据和控制指令的有效传输。

4)数据采集与处理模块。主要功能是获取通信模块送来的环境数据,实现数据格式转换、降噪处理、数据存储等数据处理功能。

5)状态反馈模块。主要功能是把采集终端的状态信息回传给上位机,以便指挥员了解装备情况。

6)终端控制模块。主要功能是实现工控机对采集终端的控制,完成设备开关机、设备初始化、设备自检、开始或停止气象数据采集等设备控制任务。

### 2.2 线程设计

为了实现对岛礁战场气象环境的实时感知和预测,软件的各个模块之间须要并行执行。将软件进程设计为主线程和多个子线程协同运行,主线程完成人机交互,子线程包括TCP通信子线程、数据采集子线程、数据处理子线程、数据显示子线程。各个线程的执行有控制调用和数据传递关系。软件的线程间的调用关系如图5所示。

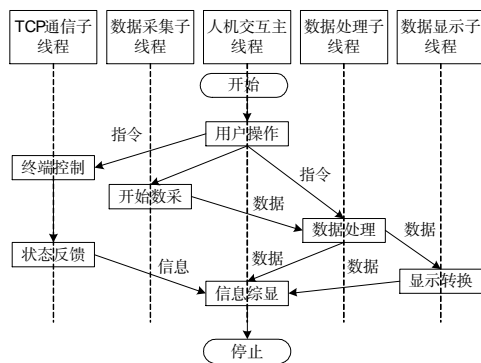


图5 软件线程控制图

Fig.5 Software thread control diagram

CVI环境下的多线程设计主要包括创建线程、设置线程标志和释放线程3个步骤:

1) 创建线程函数用于创建一个新线程: CmtScheduleThreadPoolFunction();

2) 在创建线程时,设置线程标志。设置线程标志的目的是区分不同的线程,便于对线程进行控制。

3) 释放线程。当线程内函数功能执行完毕后应当及时释放线程。释放线程由“等待线程函数执行完毕”和“释放线程”2个函数完成,2个函数如下所示:

```
CmtWaitForThreadPoolFunctionCompletion();
CmtReleaseThreadPoolFunctionID();
```

### 3 结论

本文提出的LSTM温度预测模型,可精确地实现

各测点 30 min 级温度的预测,开发的岛礁战场气象环境数据远程感知软件,可完成岛礁战场气象环境数据采集、终端控制、数据可视化、数据预测、数据存储等任务,是实现战场环境远程控制监视的自动化、信息化、智能化的现代战场感知系统的重要组成部分。

### 参考文献:

[1] 张诗楠. 高精度虚拟战场气象环境构建研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2014.  
ZHANG SHINAN. Research on the construction of high-precision virtual battlefield meteorological environment [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2014. (in Chinese)

[2] 远航. 美国空军正在快速打造下一代空中主宰的“军事物联网”[N]. 中国航空报, 2020-07-07.  
YUAN HANG. The U.S. air force is rapidly building the next-generation air-dominated “Military Internet of Things”[N]. China Aviations News, 2020-07-07. (in Chinese)

[3] 王建新, 隋美丽. LabWindowsCVI 虚拟仪器测试技术及工程应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 136-142.  
WANG JIANXIN, SUI MEILI. LabWindowsCVI virtual instrument testing technology and engineering application [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011: 136-142. (in Chinese)

[4] 杨建和. 基于 LabWindows/CVI 数据采集系统的设计[D]. 北京: 北京邮电大学, 2012.  
YANG JIANHE. Design of data acquisition system based on LabWindows/CVI[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2012. (in Chinese)

[5] 王一各, 贺霞, 赵隆. 基于 LabVIEW 和 ZigBee 无线传感网络土壤温湿度监测系统[J]. 工业仪表与自动化装置, 2020, (4): 29-33.  
WANG YIGE, HE XIA, ZHAO LONG. Soil temperature and humidity monitoring system based on LabVIEW and ZigBee wireless sensor network[J]. Industrial Instrumentation and Automation, 2020, (4): 29-33. (in Chinese)

[6] 刘景峰. 基于 LabVIEW 的数据采集与多功能分析系统设计[D]. 太原: 中北大学, 2015.  
LIU JINGFENG. Design of data acquisition and multi-functional analysis system based on LabVIEW[D]. Taiyuan: North University of China, 2015. (in Chinese)

[7] 苗春雷. 无线传感器网络在环境监测中的应用[J]. 环境与发展, 2017, 29(10): 144-148.

- MIAO CHUNLEI. Application of wireless sensor network in environmental monitoring[J]. Environment and Development, 2017, 29(10): 144-148. (in Chinese)
- [8] 孙其博,刘杰,黎彝,等. 物联网:概念、架构与关键技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(3): 1-9.
- SUN QIBO, LIU JIE, LI YI, et al. Internet of things: concept, architecture and key technology research overview [J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2010, 33(3): 1-9. (in Chinese)
- [9] 姚高华. 基于以太网的远程监控系统设计[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- Yao Gaohua. Design of remote control system based on Ethernet[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013. (in Chinese)
- [10] 李亚, 邵引平. 基于LabWindows/CVI的远程接口单元测试系统软件设计[J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(7): 148-152, 157.
- LI YA, SHAO YINPING. Design of remote interface unit testing system based on LabWindows/CVI[J]. Computer Measurement and Control, 2020, 28(7): 148-152, 157. (in Chinese)
- [11] 陈云阁, 张国. 战场自然环境建设需求下的海表风场的数值仿真研究[J]. 电子世界, 2020(13): 59-60.
- CHEN YUNGE, ZHANG GUO. Numerical simulation research of sea surface wind field under the demand of battlefield natural environment construction[J]. Electronics World, 2020(13): 59-60. (in Chinese)
- [12] 崔莉, 鞠海玲, 苗勇, 等. 无线传感器网络研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(1): 163-174.
- CUI LI, JU HAILING, MIAO YONG, et al. Overview of wireless sensor networks[J]. Computer Research and Development, 2005, 42(1): 163-174. (in Chinese)
- [13] 宋江明, 刘心蕊, 张铭朗, 等. 基于STM32的温湿度检测系统设计及实现[J]. 机电工程技术, 2020, 49(7): 158-159, 173.
- SONG JIANGMING, LIU XINRUI, ZHANG MINGLANG, et al. Design and implementation of temperature and humidity detection system based on STM32[J]. Mechanical and Electrical Engineering Technology, 2020, 49(7): 158-159, 173. (in Chinese)
- [14] 胡晓, 林明星. 智慧农业温湿度监控系统设计[J]. 机床与液压, 2020, 48(14): 129-33.
- HU XIAO, LIN MINGXING. Design of the temperature and humidity monitoring system for intelligent agriculture [J]. Machine Tool and Hydraulics, 2020, 48(14): 129-33. (in Chinese)

## Remote Sensing Technology of Meteorological Environment in Island Battlefield Based on LSTM

SANG Deyi<sup>1</sup>, GAO Shaozhong<sup>2</sup>, LU Weiwei<sup>1</sup>, YAO Gang<sup>1</sup>

(1. Naval Aviation University, Yantai Shandong 264001, China;

2. The 91697<sup>th</sup> Unit of PLA, Qingdao Shandong 266002, China)

**Abstract:** The complex geographic and marine environment has led to rapid changes in the meteorological environment of the island battlefield, which directly affects the command and decision-making of the island battlefield and the combat effectiveness of weapons and equipment. In order to accurately perceive the meteorological environment information at various points of the island battlefield in real time, and realize the real-time monitoring and effective prediction of the battlefield meteorological environment by the command platform, the paper studies remote sensing technology and temperature prediction methods, a set of remote sensing software for the meteorological environment of the island battlefield is developed based on the Labwindows/CVI software platform. The software can perceive a variety of meteorological environment data in real time, and perform the short-term prediction of temperature parameters based on the LSTM model. Many field tests have proved that the design of the software meets the predetermined requirements, and the error between the temperature prediction result and the actual measurement result is within the required range.

**Key words:** battlefield environment; remote sensing; virtual instrument; Labwindows/CVI; LSTM