

# 新一代天气雷达机外信号源远程控制技术研究

姜小云<sup>1,2</sup>, 李昭春<sup>1</sup>, 张永莉<sup>3</sup>

(1. 海南省气象探测中心, 海口 570203; 2. 海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海口 570203;

3. 成都信息工程大学, 成都 610225)

**摘要:** 在天气雷达各种定标业务工作中, 常常要使用到机外信号源设备, 主要用来进行天气雷达反射率、速度等标定, 动态范围和灵敏度等测试; 为了更加方便地使用机外信号源, 提出了利用远程控制机外信号源的方法快捷高效的开展雷达标定工作; 具体方法有: 1) web 远程控制方法; 2) telnet 远程控制方法; 3) Windows 程序控制方法; 4) Linux 程序控制方法; 5) 手机 APP 控制方法等; 在新一代天气雷达系统标定业务实践中, 可以根据需要选择使用其中的几种方法, 以便高效的开展雷达系统标定工作; 根据多个新一代天气雷达站巡检和标定业务中实际使用情况, 结果表明新一代天气雷达机外信号源远程控制技术和方法可以减少雷达系统标定业务工作劳动量, 提高了工作效率, 可以为全国其他新一代天气雷达站提供参考和借鉴。

**关键词:** 新一代天气雷达; 机外信号源; 远程控制

## Research on Remote Control Technology of External Signal Source of Next Generation Weather Radar

Jiang Xiaoyun<sup>1,2</sup>, Li Zhaochun<sup>1</sup>, Zhang Yongli<sup>3</sup>

(1. Hainan Meteorological Exploration Center, Haikou 570203, China; 2. Key Laboratory of South China

Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, Haikou 5702033, China;

3. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** External signal source equipment is often used in various calibration operations of weather radar, which is mainly used for calibration of reflectivity, velocity, dynamic range and sensitivity of weather radar. In order to make it more convenient use external signal source, the method of using remote control external signal source is proposed to carry out radar calibration quickly and efficiently. Specific methods include: 1) web remote control method; 2) telnet remote control method; 3) Windows program control method; 4) Linux program control method; 5) mobile phone APP control method. In the calibration practice of the next generation weather radar system, several methods can be selected according to the need to carry out the calibration work efficiently. According to the actual use of several weather radar stations in the patrol and calibration business, the results show that the next generation of weather radar remote control technology and method can reduce the workload of radar system calibration business, improve work efficiency, and provide reference for other weather radar stations in all the country.

**Keywords:** next generation weather radar; external signal source; remote control

## 0 引言

全国新一代天气雷达系统定标和测试业务工作中配备的机外测量仪表中的微波射频信号源主要采用美国安捷伦公司的 E4428C 型号信号发生器。该型号的射频信号发生器使用简单方便, 性能稳定可靠。在天气雷达各种定标业务工作<sup>[1-10]</sup>中, 常常要使用到机外信号源。主要是用来进行新一代天气雷达系统反射率、速度等标定, 动态范围和灵敏度等测试, 还可以用于微波线路损耗测试等。因此, 熟练使用这种机外信号源的各种功能技巧对维护维修好新一代

天气雷达系统非常重要。在新一代天气雷达系统定标和测试业务工作中实际中也有一些不方便直接操作新一代天气雷达系统机外信号源控制面板的地方。为了更加方便地使用机外信号源, 本文提出了利用远程控制机外信号源的方法快捷高效的开展新一代天气雷达系统定标工作。

新一代天气雷达系统机外信号源可以通过网线连接从而支持网络通信。可以使用连接局域网的计算机远程控制新一代天气雷达系统机外信号源。当测试信号输入端和系统结果输出端不在同一个机房或同一楼层时, 使用远程控制信号源的方法将大大提高业务工作效率, 减少业务人员数量(需要至少两个人用对讲机来协调操作), 从而使得一个业务人员就可以轻松完成新一代天气雷达系统机外定标工作。

## 1 web 远程控制

如图 1 所示, 该界面为新一代天气雷达机外信号源内

收稿日期:2018-12-24; 修回日期:2019-04-09。

基金项目:海南省气象局科技创新项目(HNQXXT201803)。

作者简介:姜小云(1978-),男,江西南昌人,硕士,高工,主要从事新一代天气雷达技术开发与保障方向的研究。

通讯作者:李昭春(1965-),男,海南琼海人,硕士,高工,主要从事气象雷达保障工作方向的研究。

置的网页远程控制信号源设备界面。只要在与之互联的计算机浏览器中输入新一代天气天气雷达机外信号源配置的 IP 地址, 即可打开该界面。在其左上角输入指定的频率和幅度, 然后点击 RF ON/OFF 按钮即可输出稳定的射频信号源。如果需要输出调制的射频信号时, 可以在右上角选择调制方式, 然后点击 MOD ON/OFF 按钮则可以输出指定的调制信号。但该方式不能选择信号幅度和频率的步进量, 默认为手动输入的步进量。这样使得在做新一代天气天气雷达定标测量实际业务中带来不便。因为新一代天气天气雷达定标测量实际业务经常需要改变幅度和频率数值。

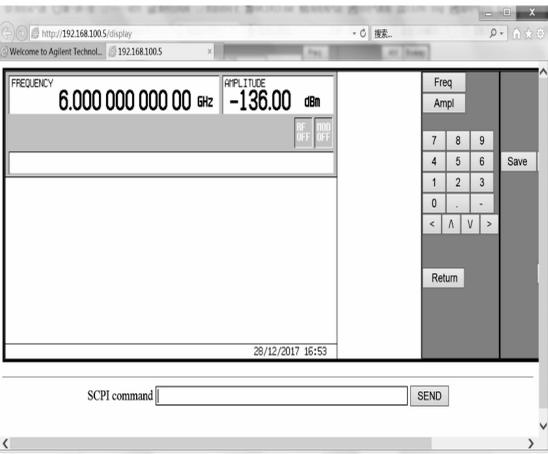


图 1 web 网页远程控制天气雷达机外信号源设备

## 2 telnet 远程控制

telnet 是 Internet 远程登录服务器的标准协议。它为用户提供在本地终端电脑上完成远程控制服务器电脑工作的能力。在终端用户的电脑上使用 telnet 程序, 用它连接到服务器。终端用户可以在 telnet 程序中输入控制命令, 就像直接在服务器的控制台上输入命令一样。从而可以在本地就能控制远程服务器。如图 2 所示, 该界面为与之互联的计算机中使用 telnet 软件远程控制新一代天气雷达机外信号源设备的界面。在计算机的控制台命令窗口输入“telnet 192.168.100.5 5025”, 即可远程登陆到新一代天气雷达系统机外信号源设备, 然后输入相应的命令控制信号源输出指定幅度和频率的微波测试信号, 从而对新一代天气雷达系统进行定标测试。比如, 输入 SOURce; FREQuency 2730 MHz, 表示控制新一代天气雷达系统机外信号源输入频率为 2730 MHz 的微波测试信号。输入 POW; AMPL -10 dbm, 表示控制信号源输入幅度为 -10 dbm 的微波测试信号。输入 OUTPut; STATe ON, 表示打开信号源开关, 立即输出该微波测试信号。

## 3 Windows 程序控制

如图 3 所示, 通过在 Windows 各版本的操作系统下使用微软公司的 VB6.0 程序设计软件编程, 实现快速高效远

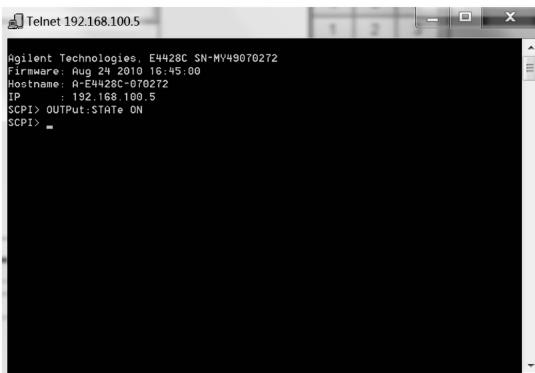


图 2 telnet 远程控制天气雷达机外信号源设备

程控制新一代天气雷达机外信号源设备。其中, 界面的 IP 地址输入框里输入新一代天气雷达系统机外信号源的 IP 地址, 界面的线损输入框输入连接定标测试信号源和新一代天气雷达系统设备测试信号输入端的连接电缆的线缆损耗。在界面的频率和幅度输入框里输入指定的测试信号参数, 点击 ON 按钮即可控制信号源输出指定的微波测试信号。根据新一代天气雷达系统机外定标测试需要, 该测试信号设定为连续波信号。对应幅度和频率给出了自动加和自动减的快捷步进按钮, 步进量可以选择几个常用的步进数值, 如频率步进量有 1 Hz, 10 Hz, 100 Hz, 幅度步进量有 1 dBm, 2 dBm, 5 dBm, 10 dBm。频率步进量的设置便于快速设置新一代天气雷达机外测试信号频率偏移量, 便于新一代天气雷达系统测量目标物速度的定标测试, 幅度步进量的设置则是快速改变新一代天气雷达机外测试信号幅度大小, 以便于新一代天气雷达系统接收机强度定标与线性动态范围测试。其关键代码如下。

新一代天气雷达机外测试信号频率自动加和减的代码设计如下:

```
Text1.Text = CStr(Val(Text1.Text) + Val(Combo1.Text) * 10 ^ -6)
```

‘这句代码对界面中的输入框数据进行格式化’

```
SockC1.SendData "SOURCE;FREQUENCY " + Text1.Text + "MHZ" + vbCrLf
```

‘这句代码通过网络发送指定频率的测试信号给新一代天气雷达机外信号源

```
Sleep (10)
```

‘这句代码表示等待 10 毫秒

```
SockC1.SendData "OUTPUT:STATE ON" + vbCrLf
```

‘这句代码表示通过网络发送命令打开新一代天气雷达机外信号源开关输出测试信号

新一代天气雷达系统机外测试信号幅度自动加和减的代码设计如下:

```
Text2.Text = CStr(Val(Text2.Text) + Combo2.Text)
```

‘这句代码对界面中的输入框数据进行格式化

```
SockC1.SendData "POW;AMPL " + CStr(Val(Text2.Text) + Val(Text4.Text)) + "dbm" + vbCrLf
```

‘这句代码通过网络发送指定幅度的测试信号给新一代天气雷达机外信号源

Sleep (10)

‘这句代码表示等待 10 毫秒

Socket1.SendData "OUTPut;STATe ON" + vbCrLf

‘这句代码表示通过网络发送命令打开新一代天气雷达机外信号源开关输出测试信号

新一代天气雷达机外标定都是用连续波进行标定,所以需要先把脉冲调制状态关闭。按下 ON 按钮的代码如下:

Socket1.SendData "OUTPut;MODulation;STATe OFF" + vbCrLf

Sleep (10)

Socket1.SendData "SOURce;PULM;STATe OFF" + vbCrLf

Sleep (10)

Socket1.SendData "OUTPut;STATe ON" + vbCrLf

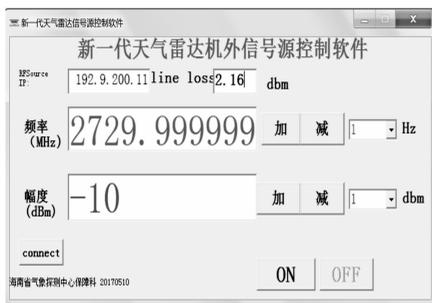


图 3 Windows 系统下程序远程控制天气雷达机外信号源界面

#### 4 Linux 程序控制

由于雷达生成厂家众多,有部分型号的雷达操作软件安装在 Linux 系统下,所以为了能在 Linux 系统下也能使用远程控制机外信号源的方式来进行快速测试标定新一代天气雷达性能参数,因此本文研究了在 Linux 系统下利用 C 语言编程软件实现远程控制机外信号源的方法。如图 4 所示,考虑到 Linux 系统窗体界面编程较为复杂,故使用命令窗口的方法来实现。部分关键代码如下:

```
char str[50],str0[100],s1[100],s2[100];
char str1[] = "SOURce;FREQUENCY ";
char str2[] = "POW;AMPL ";
char str3[] = "OUTPut;STATe ON\n";
char str4[] = "OUTPut;STATe OFF\n";
char str5[] = "OUTPut;MODulation;STATe OFF\n";
char str6[] = "SOURce;PULM;STATe OFF\n";
//初始化学字符串常量
while(1)
{
printf ("Please write down the number:");
scanf ("%d",&No);

if (No == 1)
{
printf (" RFSOURCE AMPL(dBm):");
```

```
scanf ("%lf",&ampl);
sprintf(str0,"%s%lf%s\n",str2,ampl,"dbm");
if((num=send(sockfd,str0,sizeof(str0),0))==-1)
{
printf("send() error\n");
exit(1);
}
usleep(100000);
if((num=send(sockfd,str3,sizeof(str3),0))==-1)
{
printf("send() error\n");
exit(1);
}
usleep(100000);
}
else if (No == 2)
{
...
}
return 0;
}
```

图 4 中, Linux 系统下要改变幅度设定值,可以选择数字键 1,然后根据提示输入幅度大小,即可设定新一代天气雷达系统机外信号源的幅度大小,同理,选择数字键 2 可以设定新一代天气雷达系统机外信号源的频率大小,数字键 3 为幅度步进增量设置,数字键 4 为频率步进增量设置,数字键 6 为打开新一代天气雷达系统机外信号源,数字键 7 为关闭新一代天气雷达系统机外信号源,数字键 0 则退出新一代天气雷达系统机外信号源远程控制程序。

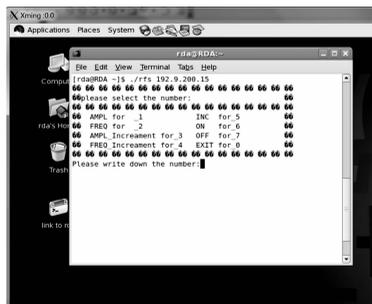


图 4 Linux 系统下程序远程控制天气雷达机外信号源界面

#### 5 手机 APP 控制

智能手机越来越普及到大众手中,智能生活和智能工作等理念越来越便利了大众的生活方式。为了利用手机便捷式联网功能,可以开发 Android 手机应用程序来进行远程控制新一代天气雷达机外信号源。Android 手机操作系统 APK 是一个基于 Java 的开发环境,它与 Java 程序设计语言极为类似,而且也是一种较为简单的开发语言,Google 公司也对 API 开发文档的书写和样例提供了很多支持。

开发手机程序需要下载并安装 Android 的 SDK 软件开发套件,主要包括有核心库文件,一个模拟器,开发工具

和一些示范的样例代码。推荐使用 Eclipse 和 Android Eclipse 扩展。为了方便说明问题, 本文使用一个互联网下载的通用型网络传输手机 APP 软件, 该软件可以实现 TCP 和 UDP 连接服务器, 自动发送预设字符串命令到已连接的服务器, 从而可以实现手机远程控制新一代天气雷达机外信号源设备。如图 5 所示, 左边界面为连接新一代天气雷达机外信号源, 右边为发送的命令字符串。手机和新一代天气雷达系统机外信号源通过无线 WIFI 网络连接, 连接框图如图 6 所示。



图 5 安卓手机 APP 控制天气雷达机外信号源界面

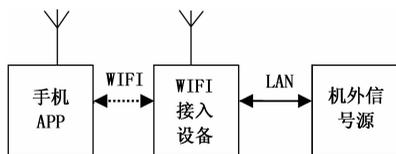


图 6 手机 APP 控制天气雷达机外信号源连接框图

## 6 应用实例

### 6.1 海口新一代天气雷达速度快速标定案例

海口新一代天气雷达为全相参多普勒天气雷达, 通过径向速度测量检验, 从而检查雷达系统多普勒处理能力的正确性。如图 7 所示, 海口新一代天气雷达系统机外速度定标方法为通过机外信号源给雷达接收机灌入一个幅度为  $-60$  dBm, 中心频率为  $2.73$  GHz 的微波信号, 并改变该信号的频率偏移来模拟接收到的回波多普勒频移, 具体为先找到速度 0 点, 然后再依次向上增加  $100$  Hz 和依次向下减少  $100$  Hz 频率, 根据新一代天气雷达速度计算公式  $v=1/2$

( $F$ ), 其中, 为雷达波长,  $F$  为模拟的多普勒频偏。然后将新一代天气雷达系统终端计算机实际测量得到的速度值和理论值相减, 所得误差小于指标值  $1$  m/s, 即为标定合格。图 7 中的 RDASOT 程序为新一代天气雷达系统终端计算机测量速度的测试软件, 使用的远程控制机外信号源程序为图 4 所示的 Linux 操作系统下本文编制的程序。这样对新一代天气雷达系统机外速度的标定将变得快捷高效, 不用人工手动控制机外信号源面板按键, 而是通过软件远程操作即可完成标定工作, 标定的结果如表 1 所示。

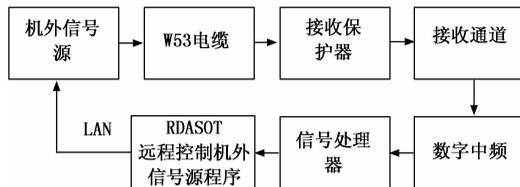


图 7 海口新一代天气雷达速度标定连接框图

### 6.2 西沙新一代天气雷达强度快速标定案例

西沙新一代天气雷达系统机外强度定标为用机外信号源注入频率为  $3.065$  GHz, 功率为  $-90$  dBm 到  $-40$  dBm 的信号, 在距离  $5$  km 到  $200$  km 范围内检验其回波强度的测量值, 回波强度测量值与注入信号通过雷达方程计算回波强度理论值的最大差值应在正负  $1$  db 范围内。图 8 为西沙新一代天气雷达机外强度定标系统框图。由于该型号雷达设备分布在不同楼层, 比如, 雷达终端操作电脑在操作控制室, 而接收通道前端位于楼上的发射接收室, 因此需要把雷达机外信号源设备放到楼上发射接收室的接收柜旁边从而给接收机灌入指定的测试信号。那么雷达系统回波测量值需要在楼下的操作室的终端电脑读取, 因此必须要两个业务人员通过对讲机或电话进行协调, 才能完成雷达强度定标工作。本文提供的新一代天气雷达系统机外信号源远程控制方法可以较好地解决这一问题。只要通过网络连接不同楼层的新一代天气雷达系统机外信号源和新一代天气雷达系统终端电脑, 就可以使用上述图 3 或图 5 方式在终端电脑上远程控制机外信号源输入指定的微波测试信号, 从而只需要一个业务人员就可完成雷达系统强度等标定业务工作, 大大提高了工作效率。表 2 为实际测量的数据与理论值 (也叫期望值) 比较结果。

## 7 结论

新一代天气雷达观测系统组网建设已趋于完善, 为短时临近天气预报、灾害性天气监测、人工影响天气等业务和科研工作发挥了不可替代的重要作用, 同时, 人们对现

表 1 海口新一代天气雷达速度标定结果(正测速双 PRF(3/2))

检测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
注入信号频移(Hz)	0	100	200	300	400	450	500	600	700	800
理论值	0.00	4.90	9.79	14.69	19.58	22.03	24.48	29.37	34.27	39.16
测量值	0.00	4.82	9.98	14.80	19.62	22.03	24.44	29.60	34.42	39.24
差值(m/s)	0.00	0.08	-0.19	-0.11	-0.04	0.00	0.04	-0.23	-0.16	-0.08

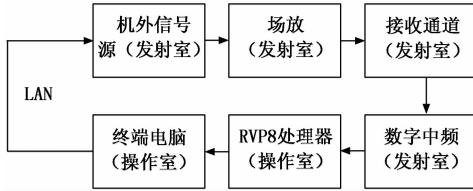


图 8 西沙新一代天气雷达强度标定连接框图

表 2 西沙新一代天气雷达强度标定结果

反射率	5(km)	50(km)	100(km)	150(km)	200(km)
实测值(dBZ)	39.35	59.89	66.51	70.63	73.73
期望值(dBZ)	39.73	60.27	66.89	71.01	74.11
差值(dB)	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
实测值(dBZ)	29.35	49.89	56.51	60.63	63.73
期望值(dBZ)	29.71	50.25	56.87	60.99	64.09
差值(dB)	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
实测值(dBZ)	19.35	39.89	46.51	50.63	53.73
期望值(dBZ)	19.75	40.29	46.91	51.03	54.13
差值(dB)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
实测值(dBZ)	9.35	29.89	36.51	40.63	43.73
期望值(dBZ)	9.82	30.35	36.97	41.09	44.20
差值(dB)	0.47	0.46	0.46	0.46	0.47
实测值(dBZ)	-0.65	19.89	26.51	30.63	33.73
期望值(dBZ)	-0.73	19.80	26.42	30.51	33.66
差值(dB)	-0.08	-0.09	-0.09	-0.12	-0.07
实测值(dBZ)	-10.65	9.89	16.51	20.63	23.73
期望值(dBZ)	-10.77	9.79	16.32	20.44	23.49
差值(dB)	-0.12	-0.10	-0.19	-0.19	-0.24

代气象业务的需求越来越高，这就使得天气预报对新一代天气雷达观测系统的稳定性、可靠性、准确性和时效性等保障业务的要求越来越高。为了更快捷、高效、安全地开展新一代天气雷达系统定标和测试业务，本文分别提出了 web 远程控制、telnet 远程控制、Windows 程序控制、

Linux 程序控制和手机 APP 控制新一代天气雷达系统机外信号源设备远程控制技术和方法，并给出了两个台站实际应用案例。这些方法可以解决业务人员不便于手工直接操作新一代天气雷达机外信号源设备控制面板问题，从而使新一代天气雷达系统标定业务快捷高效。新一代天气雷达机外信号源远程控制技术和方法可以减少雷达系统标定业务工作劳动量，提高了工作效率，可以为全国其他新一代天气雷达站提供参考和借鉴。

参考文献:

[1] 陈德生, 谢君, 曲楠, 等. 新一代多普勒天气雷达参数测量和性能标定 [J]. 河南气象, 2008 (5): 88-90.

[2] 邵楠, 步志超, 秦建峰, 等. CINRAD/SA、CINRAD/CA 新一代天气雷达定标技术操作规范及注意事项 [J]. 仪器仪表用户, 2017 (9): 106-109.

[3] 邵楠, 胡学英, 王箫鹏, 等. CINRAD/CD、CINRAD/SC 新一代天气雷达定标技术操作规范及注意事项 [J]. 仪器仪表用户, 2017 (3): 28-32.

[4] 王志武, 钟涛, 汪章维, 等. 新一代天气雷达 S 型回波强度的定标细则 [J]. 现代雷达, 2008 (1): 30-33.

[5] 潘新民, 柴秀梅, 徐俊领, 等. 新一代天气雷达测速定标精度检查方法 [J]. 气象科技, 2010 (2): 214-220.

[6] 李建勇, 敖振浪, 周钦强, 等. 新一代天气雷达回波强度定标步骤及调整方法 [A]. 2010 中国仪器仪表与测控技术大会论文集 [C]. 268-272.

[7] 巨秉中, 杨股胜, 陈国锋, 等. 新一代天气雷达回波强度的定标检验 [J]. 青海气象, 2012 (3): 60-61.

[8] 秦建峰, 谢晓宇, 涂明, 等. 基于 SYSCAL 方法的天气雷达反射率因子在线标定技术 [J]. 气象科技, 2017, 45 (6): 962-967.

[9] 李兆明, 陈洪滨, 毕永恒, 等. 使用金属球定标 X 波段固态天气雷达 [J]. 遥感技术与应用, 2018 (2): 259-266.

[10] 史朝, 史万里, 何建新, 等. 双极化天气雷达差分反射率的标定 [J]. 现代雷达, 2013 (1): 6-10.

(上接第 94 页)

[16] Orekhov V L, Knabe C S, Hopkins M A, et al. An unlumped model for linear series elastic actuators with ball screw drives [A]. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots & Systems [C]. Piscataway, USA: IEEE, 2015: 2224-2230.

[17] Abe K, Suga T, Fujimoto Y. Control of a biped robot driven by elastomer-based series elastic actuator [A]. IEEE International Workshop on, Advanced Motion Control [C]. Piscataway, USA: IEEE, 2012: 1-6.

[18] Li X, Pan Y, Chen G, et al. Adaptive human-robot interaction control for robots driven by series elastic actuators [J]. IEEE Transactions on Robotics, 2017, 33 (1): 169-182.

[19] Yu H, Huang S, Chen G, et al. Human-Robot interaction control of rehabilitation robots with series elastic actuators [J]. IEEE Transactions on Robotics, 2015, 31 (5): 1089

-1100.

[20] 张秀丽, 谷小旭, 赵洪福, 等. 一种基于串联弹性驱动器的柔顺机械臂设计 [J]. 机器人, 2016, 38 (4): 385-394.

[21] Nakamura M, Kyura N, Goto S. Mechatronic servo system control [M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2004: 1-30.

[22] Robinson D W. Design and analysis of series elasticity in closed-loop actuator force control [D]. USA: Massachusetts Inst. Technol., Cambridge, 2000.

[23] Craig J J. Introduction to robotics: mechanics and control [M]. Britain: Pearson Education Inc, 1986: 60-64.

[24] 赵敏. 装配机器人作业过程控制系统应用与软件开发 [D]. 南京: 东南大学, 2016.

[25] 胡广书. 数字信号处理—理论、算法与实现 (第 2 版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.