

# 计算机组成原理实验系统

## 调试软件用户手册

### 一、 启动和系统菜单

实验系统软件是与实验系统硬件配套的调试软件，可以进行逻辑部件实验和模型机设计实验。在软件启动时会首先弹出一对话框选择实验类型和界面语言，如图 1 所示。

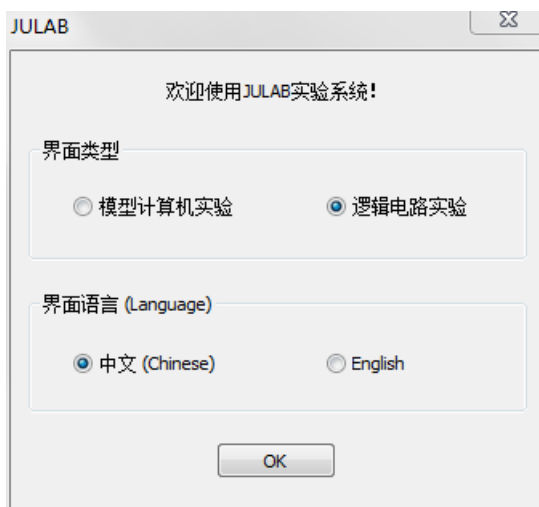


图 1 实验软件启动界面

在启动软件后，仍可以通过菜单或者快捷工具栏在两种实验类型间切换，对应的菜单项如图 2。快捷工具栏中也设有选择实验类型的下拉列表框。

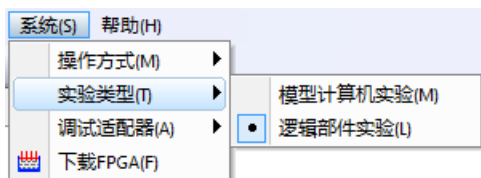


图 2 实验类型选择菜单

实验软件通过调试适配器与实验电路传递信息，如果在运行软件时计算机还没有连接调试适配器，选择任何一种实验方式后软件会显示错误信息“没有发现调试适配器/服务器”。此时应通过 USB 线缆连接计算机和调试适配器，然后通过菜单栏或快捷按钮重新检测并连接调试适配器，如图 3。



图3 调试适配器菜单

选择“连接”菜单，弹出如图4所示的“连接调试适配器”对话框。点击“刷新列表”按钮检测是否存在 JUPOD 调试适配器。当检测到调试适配器后，下拉列表框中会显示“JU-POD”，然后点击“连接”按钮，就可以建立实验软件与硬件间的通信渠道。

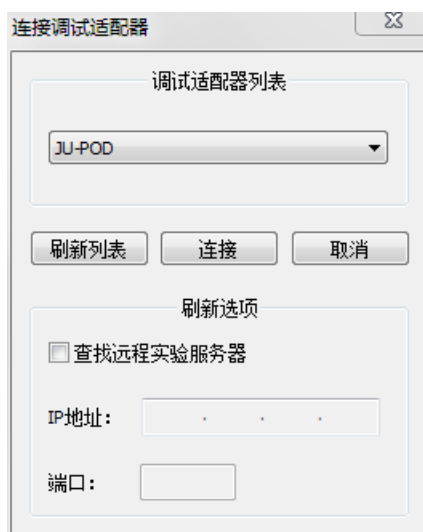


图4 检测/连接 JUPOD 调试适配器对话框

当使用 DE2-115 实验电路板时，调试适配器是一个独立的器件，它通过扁平电缆连接实验电路板。当使用由江苏大学开发的 JuLabPocket 或者 JuLabPad 实验电路板时，上面已经集成了调试适配器。

在开展任何一种实验前，如果还没有将调试适配器与实验电路板连接（此种情况只针对实验电路板与调试适配器分离的情况），或者尚未把实验电路下载到 FPGA 芯片（此种情况针对所有实验电路板），在实验过程中软件会给出错误提示信息“连接 FPGA 失败！”，此时应根据提示信息排除问题后再进行实验。如果是因为没有把实验电路下载到 FPGA 芯片，则应针对使用的电路板类型选择相应的方法将实验电路下载到 FPGA 芯片中。

如果使用 JuLabPocket 或者 JuLabPad 实验电路板，应通过本软件的 FPGA 编程功能将实验电路文件写入 FPGA 中。点击图2或图3中的菜单项“FPGA 编程器”（在工具栏中也有对应的快捷按钮）打开文件对话框，选择 rbf 文件后开始编程，编程过程中会在菜单栏位置出现进度条，如图5。



图 5 FPGA 编程进度条

如果使用的是 DE2-115 实验电路板，应通过 Altera 的 FPGA 编程软件将实验电路文件写入 FPGA 中；使用本软件的 FPGA 编程功能将会提示“硬件不支持该功能”。

逻辑部件实验和模型计算机实验两种实验类型在多个方面有所不同，包括软件的视图界面和操作方法，下面分别进行介绍。

## 二、 逻辑部件实验的操作

逻辑部件实验界面自动隐藏了不需要的子窗口，仅显示“虚拟实验板”主窗口。软件启动后显示虚拟实验板默认构图，如图 6 所示。虚拟实验板默认构图模拟的是 DE2-115 教学开发板上的一些基本输入输出元件，包括 18 个拨动开关、4 个按钮、18 个红色发光二极管、9 个绿色发光二极管和 8 个数码管。除默认实验板构图外，实验软件还支持定制虚拟实验板构图，请参考后续说明。

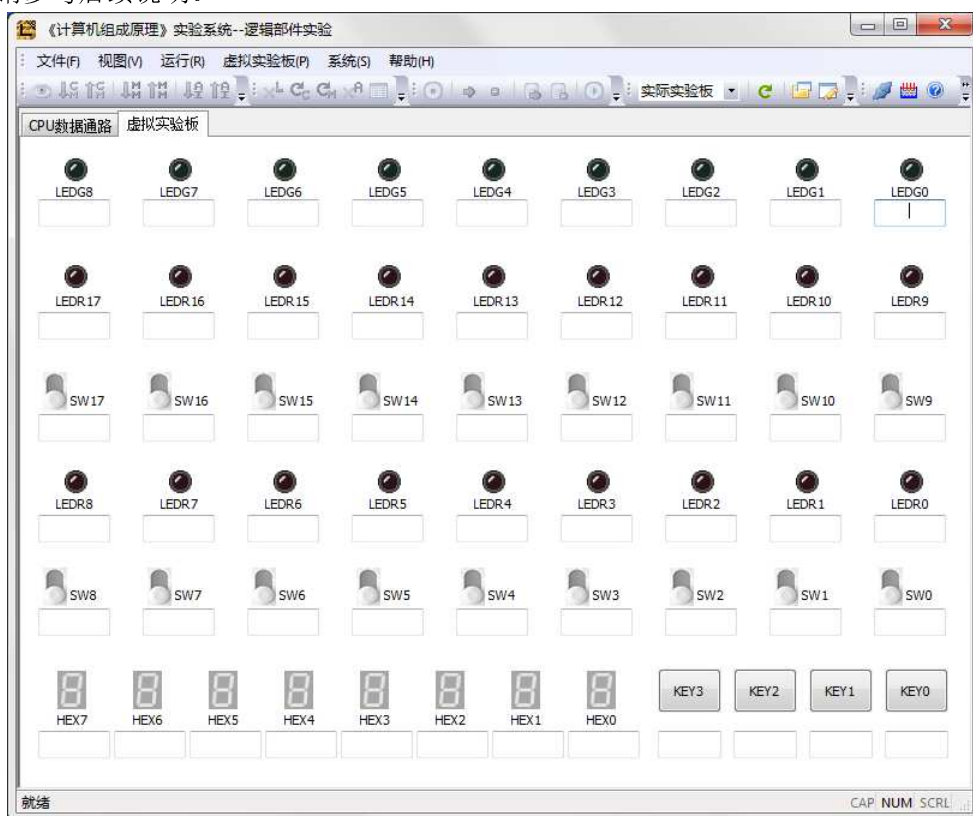


图 6 逻辑部件默认实验界面

## 1. 操作方式

实验系统支持两种操作方式，既可以直接操作实际实验板上的开关、按钮等实际器件，也可以通过实验软件的虚拟实验板操作。可以通过“系统->操作方式”菜单项或者快捷工具栏选择操作方式，如图 7 所示。软件启动时会尝试连接 FPGA 中的调试电路，如果连接成功则自动选用“虚拟实验板”操作方式，否则选用“实际实验板”操作方式。为了方便用户操作，即使当前处于“实际实验板”操作方式，只要用户操作了虚拟实验板中的开关或者按钮控件，操作方式就会自动切换到“虚拟实验板”方式。

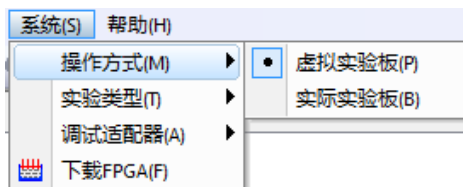


图 7 操作方式菜单

## 2. 开关和按钮的操作

用鼠标操作虚拟实验板上的控件和手动操作实际实验板的效果是一致的。通过虚拟实验板中的单选框控件（选中输出‘1’，未选中输出‘0’）和按钮控件（按下输出‘0’，释放输出‘1’）给实验电路施加激励信号；实验软件将开关和按钮状态的变化送给实验板 FPGA 内的调试电路后，随即读回电路的输出响应信号，呈现在虚拟实验板上的发光二极管控件和数码管控件。通过虚拟实验板操作按键、开关不会产生机械按键开关的“抖动”，也不会对机械元件造成磨损。

## 3. 自动刷新显示

为了能够在没有操作按钮和开关时也能够及时地反映 LED 和数码管的变化，软件提供了“自动刷新”功能。可从“虚拟实验板”菜单或快捷工具栏中启动“自动刷新”功能，实验软件每隔 100ms 自动地从实验电路获取 LED 和数码管的状态并显示在虚拟实验板中。由于自动刷新会占用电脑的一些处理时间，在不需要时应及时关闭自动刷新，自动刷新启动后软件会弹出一个提示窗口，提醒用户及时关闭，如图 8。自动刷新无法反映快于 100ms 的变化。



图 8 虚拟实验板菜单和自动刷新提示窗口

#### 4. 使用虚拟面板注释

为了直观地反映各个控件对应的信号在实验电路中的作用，实验软件提供了注释功能。图 6 中每个控件下方的文本编辑框中可以由用户输入注释信息。软件提供“保存面板注释”功能，将注释内容保存到文件中，而“打开面板注释”功能是指将文件中保存的注释信息显示出来。

#### 5. 使用虚拟面板

实验软件系统还支持定制实验面板，可以在实验电路原理图上显示相应的输入、输出信号。通常虚拟面板可以由教师事先设计，学生实验时使用菜单或快捷按钮“打开虚拟实验板”。图 9 是虚拟面板构图的一个例子，这是一个 4 位的加减运算电路实验。可以看出，使用虚拟面板构图能够更直观地反映输入输出与实验电路的关系，使学生将注意力集中到实验原理上，提高实验效率，起到通过实验加深对原理的理解的效果。

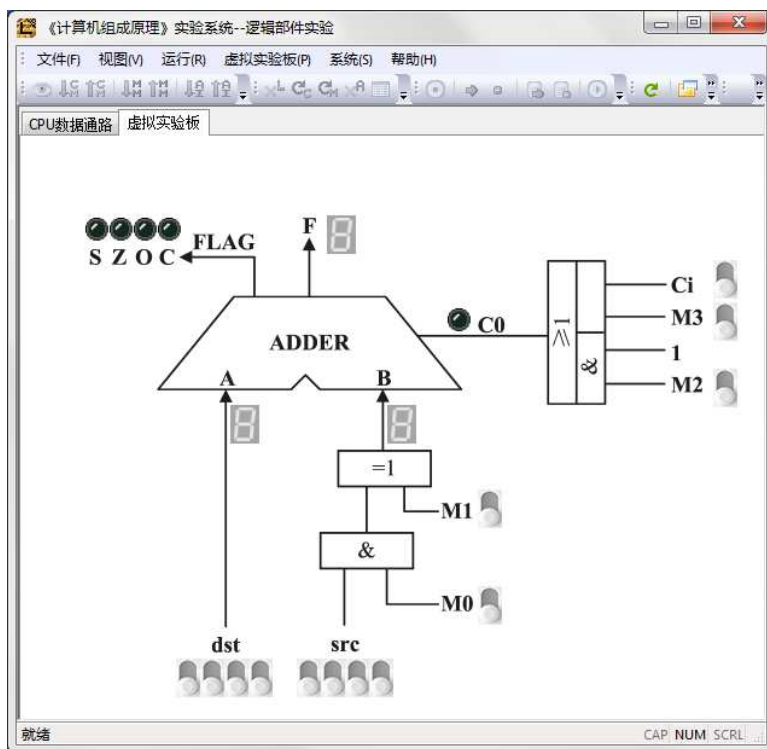


图 9 虚拟实验板面板构图示例

#### 6. 定制虚拟面板构图

从“虚拟实验板”菜单或快捷工具栏中选择“设计虚拟实验板”，打开虚拟实验面板设计窗口。如图 10，虚拟实验面板信息包括作为背景图片的电路原理图和用到的控件及属性。

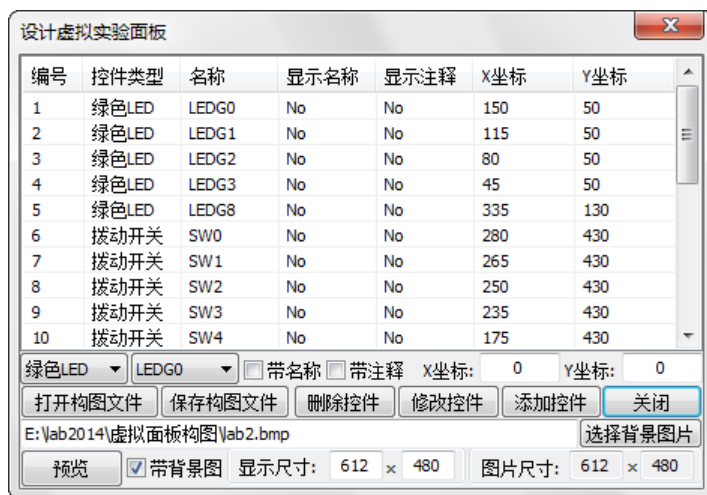


图 10 虚拟实验面板设计窗口

### (1) 添加背景图片。

通过“选择背景图片”按钮弹出的文件对话框选择背景文件，图片的实际大小显示在窗口右下角。然后在窗口底部居中的编辑框输入背景图的显示尺寸。勾选窗口左下角的“带背景图”选择框。

### (2) 添加控件

分别从控件类型和控件名称下拉列表框选择所要添加的控件，然后选择是否显示控件名称和注释编辑框，并输入控件在主窗口中的 X、Y 坐标。也可以在虚拟实验板窗口的实验原理图上想要放置该控件的位置上双击鼠标，该位置的坐标就会自动填入设置窗口的编辑框内。点击“添加控件”按钮将该控件信息添加在控件列表末尾。

### (3) 修改控件

在显示的控件列表中，通过鼠标左键双击选中某个控件，则该行高亮显示。修改控件属性的方法与添加控件相同，完成后点击“修改控件”完成对被选中控件的修改。

### (4) 删除控件

在显示的控件列表中，通过鼠标左键单击选中某个控件，则该行高亮显示。点击“删除控件”按钮将被选中的控件从控件列表中删除。

### (5) 保存/打开构图文件

点击“保存构图文件”按钮可以将定制的结果保存到文件中存储起来。点击“打开构图文件”按钮可以从文件中读取定制信息显示在虚拟实验面板设计窗口中。

## 三、模型机实验的操作

当启动实验软件并选择“模型计算机实验”后，默认装入 JUC-II 模型机的界面，如图 11 所示。

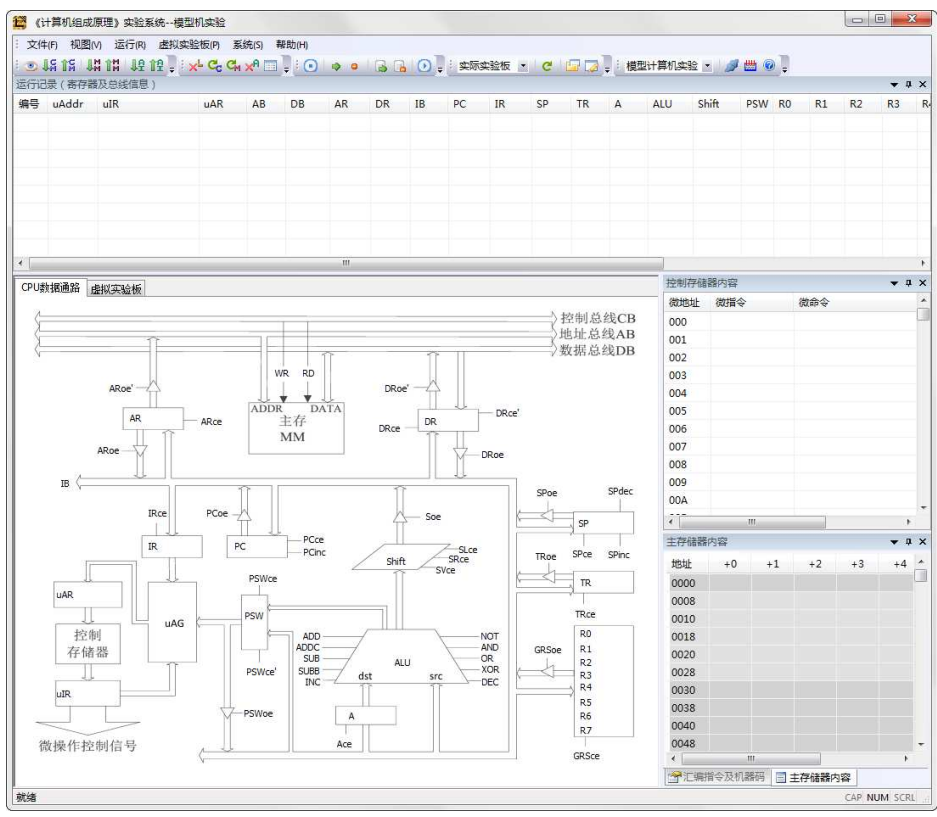


图 11 模型机实验界面

除了数据通路窗口，模型机实验通常还要用到多个停靠窗口，包括：运行记录（寄存器及总线信息）窗口、控制存储器窗口、主存储器窗口和汇编指令窗口。可通过点击子窗口右上角的关闭按钮将其关闭，也可以通过“视图”菜单下的“工具和停靠窗口”菜单项关闭或者打开停靠子窗口，如图 12。

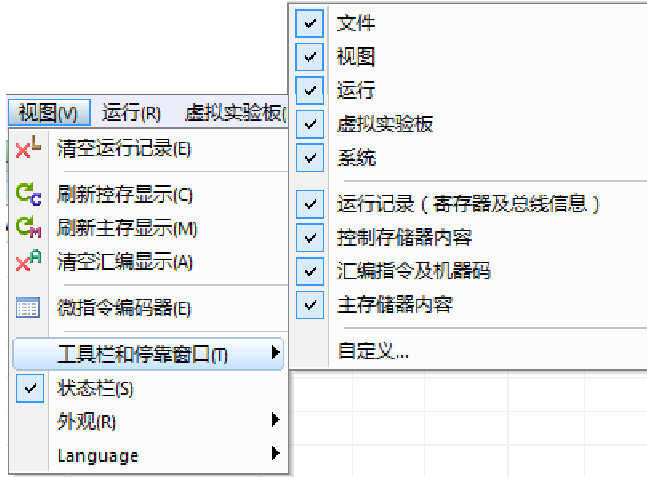


图 12 “视图”菜单

子窗口的位置和大小也可以调整。在子窗口标题栏上按下鼠标左键并拖动会出现停靠位置导航，拖动到相应的导航条后释放鼠标可改变子窗口的位置和显示方式（浮动显示或者停靠显示），CPU 数据通路主窗口的大小同时进行调整，自动填充满可见矩形区域。

下面对模型机实验界面各主要组成部分的功能和用法进行介绍。

### 1. 打开 CPU 定义文件

软件默认 JUC-II 模型机，之后也可以通过“文件”菜单或者工具栏快捷按钮“打开 CPU 定义”更换模型机界面，弹出打开 CPU 定义文件对话框，如图 13。

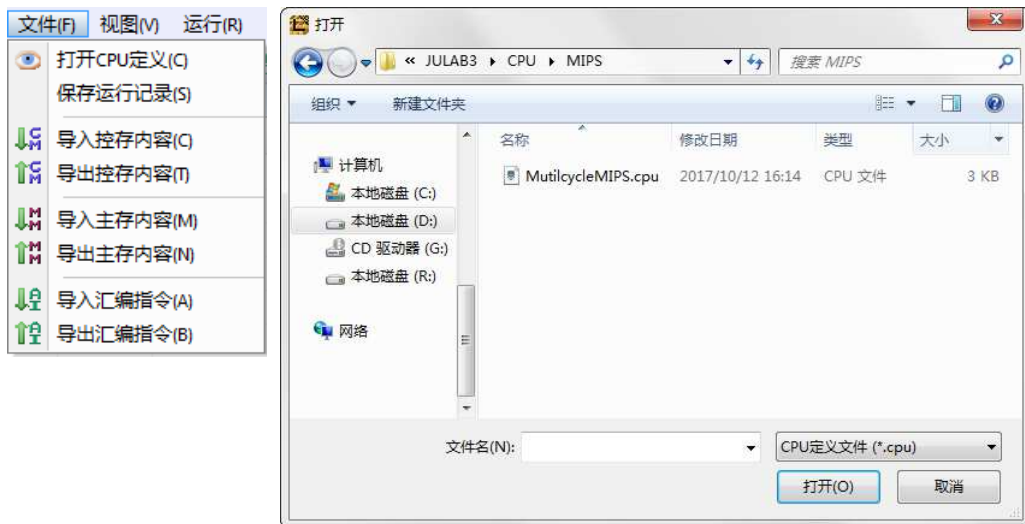


图 13 “文件”菜单

如前所述,选择模型机定义文件后,软件从该文件中装载模型机的调试观察信号到寄存器及总线信息子窗口中,同时装载模型机 CPU 数据通路图。

装载 CPU 定义后, 运行记录 (寄存器及总线信息) 子窗口的内容如图 14。从文件中载入的观察信号用于初始化寄存器及总线信息子窗口的表头, 每个信号占用一列。在对模型机进行调试时, 从模型机电路捕获的信号值显示在寄存器及总线信息窗口中, 每次在该窗口的最后追加一行信息值。学生通过分析这些信号的值以判断实验结果是否正确。

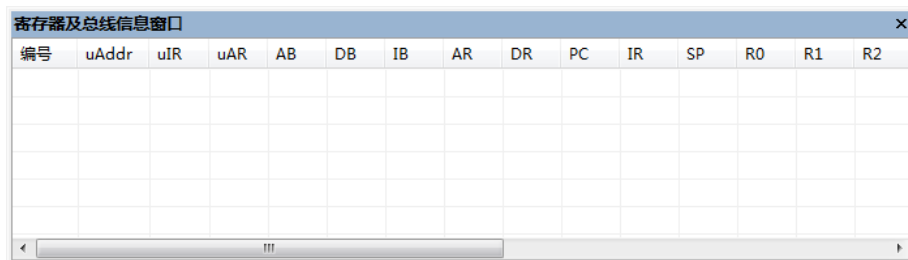


图 14 寄存器及总线信息窗口

随着调试过程的进行，寄存器及总线信息子窗口显示的记录会越来越多。当不再需要这



些信息时，可通过“视图”菜单或者快捷工具栏中的“清空运行记录”功能清除该子窗口的显示内容。

在进行模型机实验时，如果选择的 CPU 与 FPGA 中下载的模式机不一致，软件仍然可以执行，但无法得到可解释的结果，所以一定不要随意选择 CPU 定义。

2. 控制存储器窗口

控存窗口用来与模型机硬件中的控制存储器进行交互：将控存窗口中显示的微指令编码写入到模型机控制存储器；或者在控存窗口中刷新显示从模型机控存中读出的微指令。如图 15，控存子窗口中的内容分为 3 列，分别是微地址、微指令和微指令中所包含的微命令。每一行对应着模型机控制存储器中的一条微指令，按微地址一一对应。

控制存储器内容		
微地址	微指令	微命令
000		
001		
002		
003		
004		
005		
006		
007		
008		

图 15 控存窗口

与控存窗口有关的操作主要有以下几种：

（1）手工输入微指令并保存到模型机控存

手工编码好微指令后，在控存子窗口中根据存放该微指令的微地址找到对应行，在“微指令”列双击鼠标左键，在出现的编辑框中输入微指令，然后通过以下几种方式都可以将它写入到模型机电路中控制存储器的对应存储单元：

- ①按“回车”键；
- ②在编辑区域外点击鼠标左键；
- ③按上、下方向键，写入微指令后移动编辑框到上/下一条微指令。

手工输入方式的界面如图 16。

控存信息显示窗口		
微地址	微指令	微命令
000	20080001	
001		
002		
003		
004		
005		
006		
007		
008		

图 16 手工编码微指令后写入模型机控存

## (2) 利用微指令编码器自动编码微指令并写入模型机控存

JUC-II 模型机可以由实验软件自动编码微指令，而不再需要手工编码，从而提高效率。首先，在控存窗口中点击鼠标左键选中某一行（高亮显示），该行中的微地址数值就是模型机控存中存放微指令的起始地址。然后，从“视图”菜单或快捷工具栏选择“微指令编码器”功能，弹出如图 17 所示的微指令编码器窗口。

JUC-II 的微指令格式共包括 10 个字段，F0~F7 为微命令字段，F8 为下一条微指令微地址的转移方式字段，F9 为下一条微指令的基准微地址。在微指令编码器窗口中通过鼠标选择 F0~F8 字段的内容，并通过键盘输入 F9 字段的内容，按“编码”按钮后由实验软件对微指令进行编码，并将结果写入到模型机控存，同时显示在控存子窗口中被选中行的微指令字段，然后自动选中下一行，继续完成对后续微指令的编码、写入和显示操作。

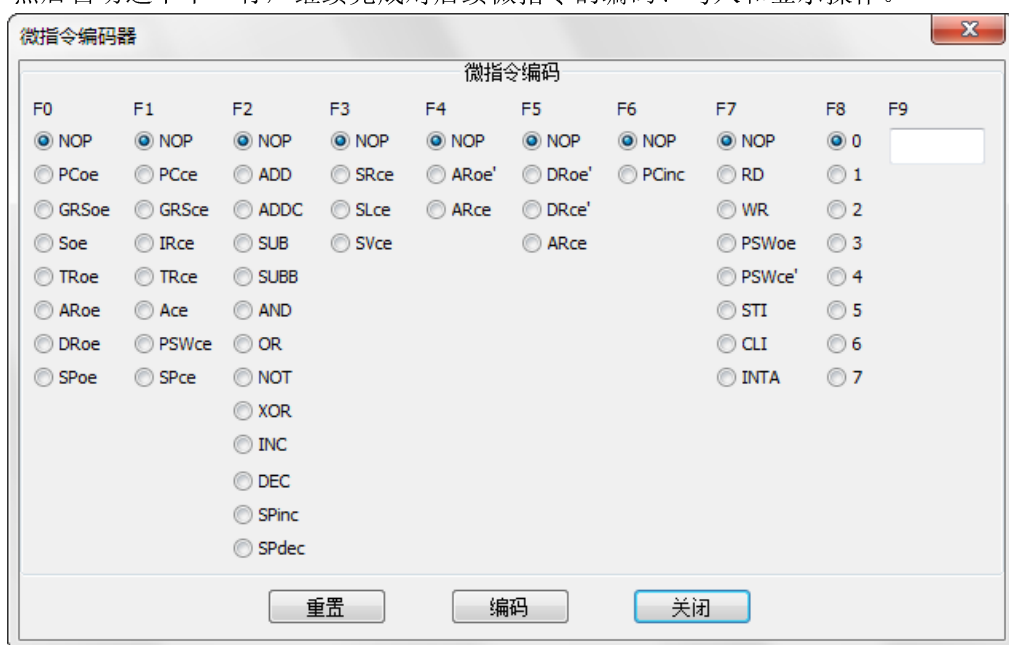


图 17 微指令编码器窗口

## (3) 从文件中装入微指令到模型机控存并显示

通过“文件”菜单或者快捷工具栏提供的“导入控存内容”可以一次性将存放在文件中的多条微指令写入到模型机电路的控制存储器。

## (4) 将模型机控存中的微指令保存到文件

通过“文件”菜单或者快捷工具栏提供的“导出控存内容”可以将模型机控存中的微指令保存到文件中。选择“导出控存”功能后弹出如图 18 所示的对话框。在编辑框中输入要保存的第一条微指令的起始地址和最后一条微指令的终止地址，按“确认”按钮后弹出选择文件对话框，指定文件路径和名称即可。

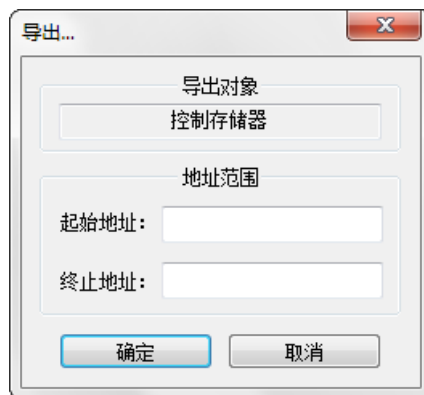


图 18 “导出控存”对话框

#### (5) 刷新显示模型机控存内容

通过“视图”菜单或者快捷工具栏提供的“刷新控存显示”功能可以读取模型机控制存储器中指定范围内的多条微指令，将读取到的结果显示在控存子窗口。选择该功能后弹出与图 18 类似的对话框，指定起始地址和终止地址后按“确认”按钮，实验软件读取模型机控存中指定地址范围内的微指令并显示在控存子窗口。

如果只需要刷新显示某一个控存单元，在控存子窗口该行的微地址列双击鼠标左键，实验软件读取模型机控制存储器中该微地址处的微指令，将读取到的微指令显示在该行的微指令字段。

#### (6) 微指令解析显示

该功能可以让操作者很容易地观察到一条微指令所包含的有效微命令及下址转移方式字段的数值。在控存窗口点击鼠标左键选中一行后，实验软件开始对该行中的微指令进行解析，将解析出的上述信息显示在微命令字段，解析结果如图 19。

控存信息显示窗口		
微地址	微指令	微命令
000	20080001	
001	00069002	
002	CC000003	DRoe,IRce,BM=0
003	00000404	
004	00000A08	
005	00000A08	
006	00000A28	
007	00000800	
008	50000005	

图 19 微指令解析

在以“微指令单步”运行时，控存窗口动态跟踪当前执行的微指令，高亮显示并解析所包含的微命令，详见后面运行调试部分的介绍。

### 3. 主存信息显示窗口

主存窗口用来与模型机硬件中的主存储器进行交互：将主存窗口中显示的内容写入到模

型机主存储器；或者，在主存窗口中刷新显示从模型机主存中读出的内容。如图 20，主存窗口中的内容分为 9 列，最左边一列为存储器地址，后面 8 列为主存内容，即每一行对应存储器中地址相邻的 8 个存储单元。

主存储器内容								
地址	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7
0000								
0008								
0010								
0018								
0020								
0028								
0030								
0038								
0040								

图 20 主存窗口

与主存窗口有关的操作主要有以下几种：

（1）手工输入内容并保存到模型机主存

在主存窗口的数据显示区双击鼠标左键，鼠标所处行、列字段处就会出现编辑框。在编辑框中数据数据后，可以通过以下几种方式将该数据写入到模型机电路中主存储器的对应存储单元：

- ①按“回车”键；
- ②在编辑区域外点击鼠标左键；
- ③按上、下、左、右方向键，写入数据后根据方向移动编辑框到对应的其它字段，继续完成对其它主存单元的写入操作。

（2）从文件中装入内容到模型机主存并显示

通过“文件”菜单或者快捷工具栏提供的“导入主存内容”功能可以一次性将存放在文件中的信息写入到模型机电路的主存储器，并将它们显示在主存窗口中。

（3）将模型机主存中的内容保存到文件

通过“文件”菜单或者快捷工具栏提供的“导出主存内容”功能可以将模型机主存中的内容保存到文件中。选择该功能后弹出如图 21 所示的对话框。

导出...

导出对象

主存储器

地址范围

起始地址:

终止地址:

确定

取消

图 21 “导出主存内容”对话框

在编辑框中输入要保存的主存起始地址和终止地址，按“确认”按钮后弹出选择文件对话框，指定文件路径和名称即可。

(4) 刷新显示模型机主存中的多个存储单元

通过“视图”菜单或者快捷工具栏提供的“刷新主存显示”功能可以读取模型机主存中指定范围内的多个存储单元，将读取到的结果按照地址对应关系显示在主存窗口的数据显示区域。选择该功能后弹出与图 21 类似的对话框，指定起始地址和终止地址后按“确认”按钮即可。

如果只需要刷新显示某一个或几个主存单元，在主存窗口该单元所在行的地址列双击鼠标左键，实验软件读取模型机主存中该地址开始的连续 8 个存储单元，将读取到的内容按顺序显示在该行的 8 个数据显示字段。

4. 主存汇编/调试窗口

主存汇编/调试窗口如图 22，用于将用户输入的汇编指令自动翻译成与之对应的机器指令并写入到主存中。目前仅支持 JUC-II 的指令系统。

汇编指令及机器码		
地址	机器指令	汇编指令
0030	0420	JMP 0036H
0031	0036	
0032	0487	DEC R7
0033	0378	JNZ FFFDH(PC)
0034	FFFD	
0035	0002	RET
0036	1601	MOV #0101H, R1
0037	0101	

图 22 主存汇编/调试窗口

当需要使用主存汇编/调试子窗口的汇编功能时，要先确定该指令所在的主存地址，然后双击该行的“汇编指令”列，进入编辑状态。在输入汇编指令后，可通过按“回车”键或按方向键中的“↓”键结束编辑，此时软件启动汇编功能，如果没有语法错误，汇编后的机器指令代码被写入到模型机主存中，同时显示在“机器指令”列。如果有语法错误，则应根据提示错误修改汇编指令后重新进行汇编。

汇编结束后，可以通过“文件”菜单中的“导出汇编指令”功能将输入的汇编指令保存到文件中。通过“导入汇编指令”功能可以将保存在文件中的汇编指令显示在主存汇编/调试子窗口中，同时翻译为机器指令写入到模型机主存中。

主存汇编/调试窗口和主存信息显示窗口都能反映主存内容，这两个窗口具有联动功能，即不管通过哪个窗口改变了主存的内容，另一个子窗口的显示内容也同时进行更新；但需要说明的是，主存汇编/调试窗口不具有反汇编功能，不会根据主存内容的变化反汇编出汇编指令。如果主存内容已经变化，可以通过菜单或工具栏按钮将汇编窗口内容清空，以免引起误解。

此外，在以“机器指令单步”运行时，主存汇编/调试窗口动态跟踪执行的机器指令，详见下面运行调试部分的介绍。

## 5. 运行及调试

在装载完观察信号、在控存中写入微程序、在主存中写入程序和数据后，可以开始对模型机进行调试，验证所设计结果的正确性。软件提供的各种调试命令可通过“运行”菜单或者快捷工具栏启动。“运行”菜单如图 23。



图 23 “运行”菜单

下面对各种调试命令进行逐一介绍。

### (1) 复位

该功能可以对模型机硬件电路进行复位，复位后各信号的值显示在寄存器及总线信息子窗口中。以 OpenJUC-II 模型机为例，复位后 (PC)=0030H, (SP)=0030H, 其它信号的值 0, 如图 24 中的第一行所示。

## (2) 微指令单步

每运行一次该命令，从当前微地址开始执行一条控存中的微指令，并将运行后各观察信号的数值追加到寄存器及总线信息窗口的末尾，数值发生变化的寄存器和信号在标题栏上以\*号表示，如图 24 所示。

[illegible]

图 24 运行时的寄存器及总线信息窗口

在控存信息显示窗口, 刚刚执行完的微指令被高亮显示, 并在微地址栏中显示符号“>”, 在微命令栏显示对该条微指令的解析结果, 如图 25。

微地址	微指令	微命令
000	20080001	
001 >	00069002	ARoe',DRce',PCinc,RD,BM=0
002	CC000003	
003	00000404	
004	00000A08	
005	00000A08	
006	00000A28	
007	00000800	
008	50000006	
009	40080015	

图 25 微指令动态跟踪

主窗口的数据通路图中也会用色彩表示运行状态的变化，如图 26所示。当前微指令发出的微命令显示为红色，如 ARoe'、RD、DRce'、PCinc；当前微指令执行后发生了变化的数据显示为蓝色，如 AB、DB、DR、PC，没有变化的数值显示为黑色。此外，通路图中还会使用线条以动画的形式显示信息流动的路径。

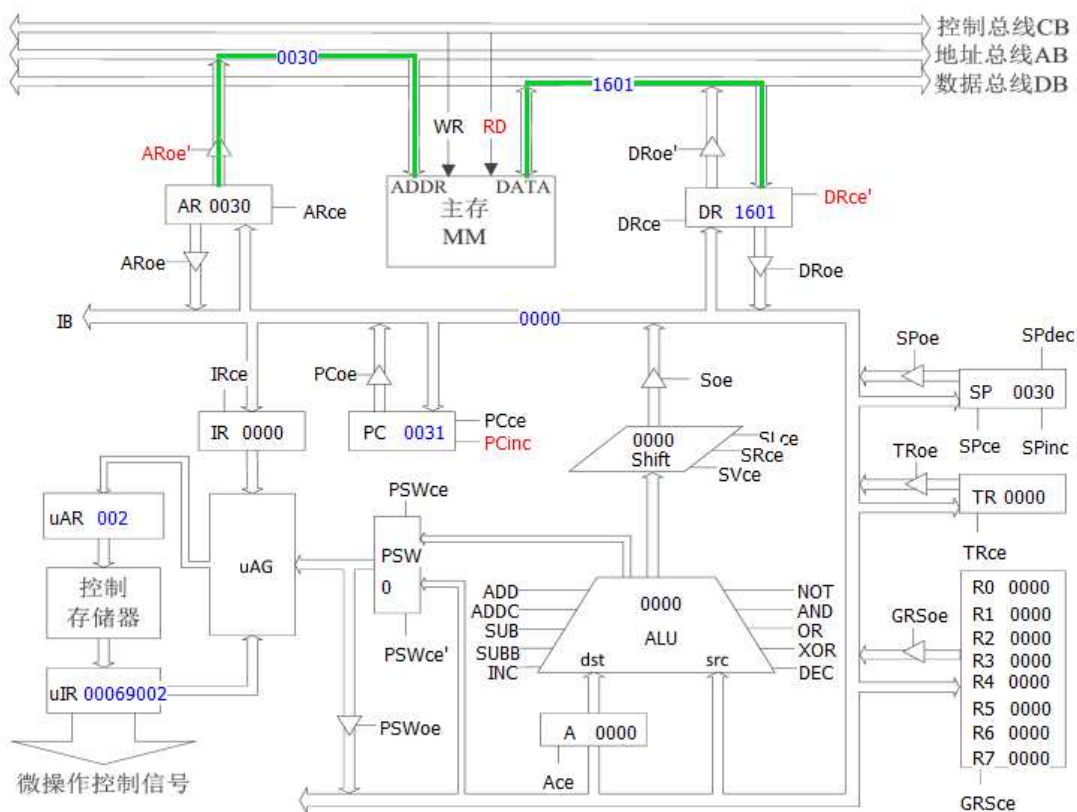


图 26 数据通路图的彩色动态显示

### (3) 微指令断点运行

该功能允许操作者设置微指令断点后运行，当遇到微指令断点时停止运行，在寄存器及总线信号窗口显示各个信号的当前值，同时在控存信息窗口中高亮显示当前执行的微指令。运行该命令后弹出图 27所示的对话框。

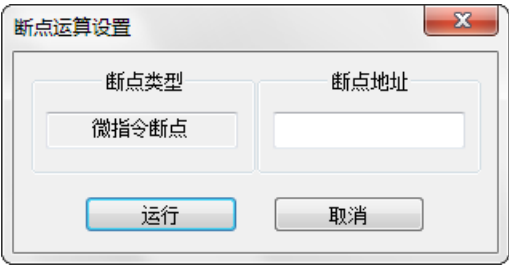


图 27 微指令断点运行对话框

在“断点地址”编辑框中输入微指令断点地址后按“运行”按钮即启动了微指令断点运行功能。如果设置的微指令断点地址不合适（如断点地址不可能被执行到），则模型机硬件一直处于运行状态，并且菜单命令的文本显示为“停止微断点运行”，此时可通过该菜单命令强制停止运行。

（4）指令单步

每执行一次该命令，从当前程序计数器 PC 开始执行一条主存中的机器指令，并将运行后各观察信号的数值追加到寄存器及总线信息子窗口的末尾，同时主存汇编/调试子窗口中完成对机器指令的动态跟踪，定位到下一条即将要执行的机器指令。如图 28。

汇编指令及机器码		
地址	机器指令	汇编指令
0030	0420	JMP 0036H
0031	0036	
0032	0487	DEC R7
0033	0378	JNZ FFFDH(PC)
0034	FFFD	
0035	0002	RET
0036	1601	MOV #0101H, R1
0037	0101	

图 28 主存汇编/调试窗口的动态跟踪

（5）指令断点运行

该功能允许操作者设置机器指令断点后运行，当遇到机器指令断点时停止运行，在寄存器及总线信号子窗口显示各个信号的当前值，同时主存汇编/调试窗口中完成动态跟踪。运行该命令后弹出与图 27类似的对话框，输入机器指令断点地址后按“运行”按钮即启动了指令断点运行功能。

如果设置的机器指令断点地址不合适（如断点地址不可能被执行到），则模型机硬件一直处于运行状态，并且菜单命令的文本显示为“停止断点运行”，此时可通过该菜单命令强



制停止运行，显示信号值并完成跟踪。

#### （6）连续运行

通过该命令启动模型机并处于连续运行状态。在连续运行期间，该菜单命令的文本显示为“停止运行”，此时可通过该菜单命令强制停止运行，也可以通过复位命令强制停止运行。

#### （7）保存运行记录

通过“文件”菜单中的子菜单命令“保存运行记录”可以将寄存器及总线信息窗口中的运行记录保存到文件中，该文件可以用 Excel 等电子表格程序打开。

### 6. 虚拟实验板作为外部设备

模型机使用开关、LED 等作为基本输入输出设备，可以使用虚拟实验板作为操作界面，操作方法与前面介绍的逻辑部件实验的操作方法一样。