第一章 绪论

1.1课题研究背景

随着工业规模的不断扩大，对于工业厂房的控制技术也变得越来越复杂。期初，各种控制面板分布到各个工业现场，需要大量的人力资源来维护这些相互独立的面板，但是这样不能对整个工业生产过程有一个全局的概览。随后人们发现，可以手动记录每个面板相关的生产信息，然后将其传输到控制中心，这样就可以让控制中心可以很容易的了解到各个底层生产间的状况，同时可以形成一个整体了解，然后做出相应的抉择。这种控制方式一般包含一个控制中心，多个分布在各处的控制点。控制点负责采集现场的实时生产情况，控制中心负责结合各个控制点反馈的实际数据，然后做出对应的处理。这种架构是很好的，但是存在着一个问题，那就是需要大量的人力资源，每个控制点将会配置一个以上的工人，负责记录数据以及执行相关的命令，同时还要周期地向控制中心上报数据。这样会导致两个问题，一是不能及时的将现场数据反馈给控制中心，使其及时地做出决定，这样就会使得有些紧急事件无法被恰当适时地处理，可能会造成整个生产流程的中断，从而导致巨大的损失。同时由于控制中心的工作人员会由于分析的不到位，导致不能得到有效的结果，因此可能会下达错误的命令。再则由于命令是由控制中心下达的，各个控制点可能不能及时的收到命令，因此造成命令不能按时执行，也有可能中断整个生产过程；二是在整个控制过程中，需要大量的人力资源，将会使得整个生产成本增加，同时由于人工操作会带来很多不确定性，因此大大影响了整个控制系统的可靠性和稳定性。

随着通信协议的不断成熟以及图形显示技术的发展，上述问题得到了解决。人们为每个控制点设计一套独立的控制系统，让其可以很好的监视生产状况，同时记录分析整个现场数据，并且可以独立的执行相关的命令。当然整个控制系统中也存在一个控制中心，负责监视整个生产过程。但是此时控制点和控制中心的数据交换已经不再通过人力进行，而是通过一些可靠的通信协议进行传输。由于图形显示技术的发展，以及计算机计算能力的提升，设计一套复杂的算法来对整个控制流程进行控制以及显示就变得现实和正确了。根据不同的工业的控制需求设计对应的控制算法，使得整个控制过程变得简洁可靠。可以看出这一次进步使得整个工业控制消除了上面提到的两个缺陷，同时还使得系统变得更可靠更安全。因为，由于不是由操作人员来进行数据传输，这样就使得生产情况可以及时的传达到控制中心以及控制命令可以迅速的发送到各个控制点；同时由于设计了高效的控制算法，使得数据可以预先得到有效的处理，这样决策人员就可以根据预处理出的结果做出更加精准的决定。

控制技术经过不断发展，整个工业控制已经达到了高度自动化。人们也总结出了整个工业控制的层次，这样更有利于对每个层次设计出高效的算法以及解决方案，同时也使得功能独立，降低了耦合性。一般工业控制操作分为五个层次：

* 工业现场(Field Level)：包含各种现场设备，包括温度传感器，各种终端控制器等。
* 直接控制层(Direct Control)：包含各种工业化的I/O模块，一般都带有自己的处理器。
* 工厂监控层(Plant Supervisory)：包含一台或多台监控计算机，它们负责从各个控制点收集数据，然后为监控人员展示整个生产状况的画面，同时将监控人员的命令下达到相应的控制点。
* 产品控制层(Production Control)：目标是对整个产品生产的全局监控，以及做出相关上层决策。
* 生产调度层(Production Scheduling)：对多条产品线进行安排。

其中工厂监控层是比较复杂的一层，主要的软件部分和计算部分都在这一层，因此是研究探索的核心。国外将其称为SCADA(Supervisory control and data acquisition)，国内对应地称作组态软件。其实这是一种控制系统架构，它利用计算机技术，网络数据交换协议和高层的图形化界面进行监控和管理，使得下层的可编程逻辑控制器的相关的终端控制器对生产现场进行直接控制。通过SCADA监控计算机系统，操作人员可以通过图形化操作界面来监视生产情况，同时还可以通过它向下层控制器设置相应参数，达到控制的目的。因此SCADA的核心理念就是为了找到一种通用的方法，使得能够和分布在各个地方的终端控制器通信，达到控制的目的。为此，随着科技的不断的发展，SCADA的结构也在不断的变化。到目前为止总共经历了四代变化：

* 集中式时代：早期的SCADA系统的计算任务是交给小型机来完成的，由于当时的通用网络服务还没有建立起来，因此只能用一些使用环境比较受限的通信协议，从而使得SCADA系统无法与外界或远程的系统交互，只能相对独立地工作。而且此时的SCADA系统一般会配置一台主机来进行数据备份，以防发生意外导致信息丢失，因此相应的系统也产生了，如数字设备公司(Digital Equipment Corporation)生产的PDP-11系列。
* 分布式时代：SCADA系统将信息和命令分发到各个站点，这些站点通过局域网连接起来，因此可以达到近似的实时性。每个站点将会负责与各自相关的特殊任务，与第一代SCADA系统相比将节省不少开支。但是由于网络协议还没有普及和标准化，局域网所用的传输协议是私有的，除协议的开发人员之外，很少有人能够正确的使用这些协议，因此会为SCADA系统带来一些安全隐患。
* 网络时代：相对于分布式时代，网络时代提供了功能完善的网络通信协议，使得其信息交互更加高效更加安全。而且对于那些跨度很大的SCADA系统，只有网络协议才能更好的满足其需求。同时将网络加入到SCADA系统中，可以使得几个平行的SCADA系统都能够进行交互，从而让控制范围更加大。
* 物联网时代：随着云计算技术的成熟，一些企业开始提供商业的云计算服务，SCADA系统也开始采用物联网的相关技术来缩减成本，增加系统的可整合性。因此使得SCADA系统可以近似实时的报告目前的状态，同时由于云服务环境的提供了良好的水平伸缩性，在这种环境下实现较为复杂的算法也变得更加容易。早先，SCADA系统的数据收集对于终端设备是采取一对一的映射的，后来发现这种方法比较笨拙，因此提出了数据模型这种解决方案。在数据模型中，每种设备在SCADA软件中都有与之相对应的虚拟表示，这种虚拟表示不仅可以反映设备的地址映射情况，而且还可以携带其它相关信息，那将非常有利于SCADA系统对设备的有效管理。

1.2国内外研究现状

1.2.1组态软件简介

上文简要地介绍了SCADA系统，国内将其称为组态软件，两者在软件结构上是保持一致的，因此下文将统一使用组态软件来表示两者。组态软件拥有很好的伸缩性，小到只有几十个控制点的系统，大到上千控制点的系统，都可以通过组态软件进行组态，而且往往能够得到很好的成本效益。组态软件一般用在工业领域（如工业生产，过程控制，能源控制，加工等），基础设施领域（如水利，物流，灌溉系统，油气管道控制，电力传输等）和一些基于大型设施的处理过程（如楼宇，机场，船舶，太空站等）。

组态软件一般由以下几个部分组成：

1. **监控计算机：**这是整个组态软件系统的核心部分，涉及到计算机，负责与现场控制器通信的软件以及一个运行在操作台的人机交互软件。它汇集来自多个处理过程的数据，并且还要负责发送控制命令到各个现场设备。在稍小一些的组态软件运行系统中，监控计算机可能就只有一台PC机，人机交互界面是其中的一部分。而在稍大一些的组态软件运行系统中，整个监控中心可能会包含多个有显示界面的计算机，多台负责采集数据的服务器，一套分布式软件以及灾难恢复服务器。同时为了增强系统的可靠性，这些服务器还需要支持双冗余和热备份，从而可以使得在意外发生时，系统还能恢复控制与监视。
2. **远程终端单元：**也称作RTU(Remote terminal unit)，往下与各种传感器相连，往上通过网络与监控计算机相连。RTU作为一种智能I/O，往往具有独立的控制功能，如利用梯形图来完成布尔逻辑操作。
3. **可编程逻辑控制器：**即PLC(Programmable Logic Controller)，与RTU相同，往下与各种传感器相连，往上通过网络与监控计算机相连。但相比RTU，PLC具有更强的控制能力，而且支持一种或多种IEC 61131-3编程语言对其编程。由于PLC相较于RTU更加经济，更加通用，扩展性更好而且支持可配置，所以目前使用RTU的地方都被PLC替换掉了。
4. **通信设施：**即用于监控计算机系统和RTUs或PLCs之间的通讯模块，通常使用的是工业标准协议或制造商专有协议。通过监控计算机给出的最近的一条命令，RTUs或PLCs能够自主地完成控制操作，而且相当接近实时状态。同时通信设施还要保证，通信连接的部分损坏并不会影响整个工业生产过程的控制，而且一旦通信恢复，操作人员将能够继续进行监视和控制。此外一些关键的系统还会采用双冗余数据高速通路，即通过分离的路由器进行数据传输，从而保证通信的可靠性。
5. **人机界面：**即HMI(Human-Machine Interface)，监控系统的操作窗口。人机界面通过虚拟图表，警告页面，事件日志页面以及趋势图等构成。利用采集回来的数据，然后改变各种虚拟图表以及其他页面的状态，从而形成一个工业现场的概览图。一般人机界面是为操作人员准备的，其目的就是收集外部设备的数据，形成报告，发出相关警告，发送相关通知，从而达到一种集中控制。虚拟图表是由一些代表与处理过程相关的元素的线或符号组成的，往往随着数据的变化，形成一种动画的效果。对整个工业控制过程的操作也是通过人机界面完成的，一般设计鼠标操作，键盘操作或屏幕触摸。比如存在这样的一个例子，使用组态软件设计了一个抽水泵控制的系统，整个人机界面采用动画的形式展现这一过程，期间操作人员可以通过人机界面上的开关按钮来控制水泵的开关，当用鼠标点击关闭按钮，此时界面将显示出水泵关闭的效果，即水流量减少，实时地反馈到界面上。可以看出整个人机界面主要包含了两部分：现场情况反映，通过实时采集现场设备的数据，然后利用形象的动画，将其生动的展现给监控人员；控制现场，通过人机界面上的一些虚拟按钮，操作人员可以采取点击的操作，然后形成相应的命令，最后通过互联网络将其发送到工业现场，达到控制的目的。此外，人机界面还将为用户提供历史数据的浏览功能。
6. **报警处理：**是组态软件中比较重要的一部分。系统监视器将会不断地检测报警条件是否满足，而且还要决定何时可以触发一个报警事件。一旦一个报警事件被侦测到了，系统将会采取行动（如触发一个或多个报警指示器，邮件或短信通知远程管理人员等）。在多数情况下，组态软件运行系统的操作人员可以肯定某些报警事件的存在，但这也只能关闭部分报警指示器，一定要报警条件被清除，这时所有的报警指示器才可以关闭。报警条件一般分为两种：明确的报警条件，如报警条件是某个变量达到了某一确定数值，或通过一系列计算，得出了一个具体数值，从而满足了报警条件，其核心就是报警条件是非常明确的；不明确的报警条件，如某一数值达到某一范围，即会触发相应报警，此时报警条件是限制在某一范围的。报警指示器的目的是为了吸引操作人员的注意，以便使其做出恰当的操作，一般包括报警声，在屏幕上弹出一个警示框，或在屏幕相关区域进行特殊颜色的标识。
7. **PLC/RTU编程：**智能RTU或者标准的PLC都能够在没有监控计算机的干预下自主地执行一些简单的逻辑处理。这些设备都能使用标准化的控制编程语言进行编程，从而使其执行相关的处理逻辑。这类不像一些高级的编程语言，需要大量的专业知识才可以进行设计，它们往往语法简单，易于掌握。这就使得组态软件运行系统的工程师可以在RTU或者PLC上实现基础的控制算法，从而简化整个控制逻辑。

1.2.2组态软件发展趋势

如前文所述组态软件的概念源于SCADA，而SCADA主要是国外的产物，因此组态软件的发展也主要集中在国外，目前市场上比较知名的国外组态软件有Wonderware公司的InTouch，西门子公司的WinCC和Intellution公司的iFIX等；随着国内工控技术的累积与发展，同时借鉴了国外知名的组态软件，也出现了一批优秀的组态软件，如北京亚控公司的组态王，大庆三维公司的力控。国内的组态软件主要的优势在于本土化做得很好，同时积极吸取国外组态软件的优点，也使得自己的市场竞争力得到提升。

组态软件的发展主要体现在以下两个个方面：

* 运行平台：早期由于DOS系统比较盛行，组态软件主要运行在此操作系统下，由于此时的处理器大多是16位的，因此对应的组态软件也是16位的，这就大大限制了组态软件的功能，不能提供生动的图画显示，不能承载过多的计算，不能运行复杂的算法等等，同时所控制的设备数也受限制。随后随着Windows系列系统的诞生，处理器的升级，组态软件也朝着功能丰富化的方向发展，组态软件可以运行复杂的动画，可以模拟复杂的器件，可以实现复杂的控制算法，同时控制能力也得到大大提升。今后组态软件的发展是朝着多平台的方向发展的，要求不仅能够在传统的PC平台上运行，还要能够在移动设备上运行。
* 通信环境：起初组态软件的通信协议只是局限在一些商用的授权通信协议上，可互联的范围很小，随着网络技术的发展和成熟，组态软件也开始逐渐接纳TCP/IP协议，这就使得组态软件的控制范围可以跨越生产间、跨越工厂。随着云计算技术的发展，为了更好的管理数据，组态软件也开始采用云计算的概念，同时这样也为使用者节省了开支。

由于组态软件从使用一些私有的授权协议转为使用一些标准协议或一些开源的解决方案，同时大力提倡网络化，这虽然使得组态软件运行系统可以更好的互联，但同时也为网络攻击提供了方便之门。组态软件一般用在一些比较大型的设施中，如电力控制系统等，这些设施往往影响到人们生活的方方面面，如果一旦被攻击，将会造成巨大损失。

组态软件系统存在的威胁主要分为两类。一是未授权的得到控制权，通常是人为的或意外被病毒感染。二是通过网络途径攻击，通过网络将病毒植入系统或劫持替换控制命令来达到获取控制权的目的，因为这些控制协议没有使用加密技术。

组态软件的安全问题也成为组态软件研究的一个重要部分，因为组态软件一般在一些基础领域使用，如果发生意外，将会对人们的健康和安全造成影响，因此为此投入更多的研究是值得的。

1.3课题研究意义

通过使用组态软件提供的相关控件，开发人员可以通过拖拉的方式来构造人机界面，然后利用参数配置框来对系统监控流程进行配置，同时加上适当的动画效果可以达到再现整个生成过程的目的，这就是组态软件的使用方式。整个过程中开发人员不会进行大量的编程工作，只需要对生产工艺有深刻的了解就可以开发出带有人机界面的控制系统。在组态软件产生之前，开发一个控制系统，一般是先分析整个控制流程，然后用高级语言进行开发，整个开发周期很长，而且人力物力消耗很大，最关键的还是伸缩性扩展性非常不好。如果遇到需求的变动，可能将会导致整个软件架构的变动，将会带来不能承受的损失。同时，由于每个系统都是独立开发的，有些具有相同功能的模块被多次开发，这样导致费时又费力。组态软件通过将通用功能进行模块化，提供良好的扩展性，使得可以被反复利用，同时由于这些模块都是经过反复验证过的，因此可靠性更高。

通过以上简述，研究组态软件的架构与实现是非常有意义的，这将为相关领域带来更好的效益。

但目前的组态软件也存在相应的问题，这也是本文探索的根基。

1. 价格高：目前组态软件一般是以控制点的数量来进行付费的。即将一个控制系统中需要监控的项目抽象成一个个控制点，然后决定使用哪种付费方式，即使采用这种按需付费的方式也将是难以承受的，一个小型的系统可能将会为此支付数万元，大一些的系统将支付数十万元。这还不包括开发费用，只是授权使用费而已。
2. 功能繁杂：目前的组态软件讲究的是大而全。整个组态软件开发系统很大，包含各种各样的图元、图标、虚拟仪表等，提供多领域的解决方案。由于包含的内容多，因此使用流程也变得复杂，为此需要投入更多的人力进行学习。
3. 平台限制：目前组态软件一般运行在Windows系统上，由于移动设备的不断发展，以及其运算功能的不断增强，希望组态软件能够运行在移动设备或Linux平台的需求越来越强烈。
4. 应用场景单一：目前组态软件主要应用在工业控制领域，基础设施领域和一些大型控制环境中。随着各种智能设备的增加，设备之间的交互也变得很重要了，因此组态软件的控制方式很实用。
5. 可扩展性限制：由于目前的组态软件都是商用产品，对外暴露的接口很少，如果想要对其进行二次开发根本是不可能的。因此这就限制了组态软件在一些特殊领域的使用。

本文主要探讨如何利用QT这个跨平台应用程序开发框架，来开发一款轻量型组态软件。由于QT是基于C++的，并且使用其提供的API进行相关开发，可以保证在不同平台上使用不同的编译器得到相应平台的可执行程序，这样就使得该款组态软件满足了多平台支持的特性。其次，该组态软件的设计主要完成的是其整体框架的构建，其它比较特殊的模块（如与特殊领域相关的一些控制算法）不进行设计，但为其留好了接口，这样方便开发人员可以对该组态软件进行二次开发。同时该组态软件由于主要利用TCP/IP协议进行通信，因此可以将其利用到其他领域，如智能设备互联等。

1.4论文主要内容及结构

本文主要给出一种组态软件的设计方法，并在QT开发平台上将其实现。开发出的组态软件希望能够满足跨平台的工作特性，并且能够在多种应用场合中使用，同时具有良好的可扩展性，能够让使用者进行二次开发。由于时间与工作量的关系，本文将主要描述整体框架的设计与实现，一些与特殊行业相关的功能模块或解决方案并没有进行设计与实现，但是为开发者保留了接口，方便其根据现实需求来实现。

论文包括以下章节：

第一章：绪论。主要描述了组态软件产生的背景，然后介绍组态软件的发展历程，最后描述了目前组态软件存在的问题，然后围绕这些问题描述了本课题的研究意义。

第二章：组态软件的总体框架设计及相关技术研究。主要描述了组态软件的组成，然后讨论了开发实现的工具与技术，接着给出了一个总体设计框架。

第三章：组态软件开发系统的设计与实现。

第四章：组态软件工程文件的设计与实现。

第五章：组态软件运行系统的设计与实现。

第六章：组态软件的测试。

第七章：总结与展望。

第二章 组态软件的总体框架设计及相关技术研究

目前主流的组态软件主要用在一些大型的工业控制场景，但是随着互联网、物联网的发展，一些新兴的领域也开始需要组态软件这样的一类软件，然而由于监控的要求不一样，很多主流组态软件一些必要的功能并不怎么需要，如强实时性、复杂的控制算法、丰富的控制模块和丰富的驱动等。此时的组态软件需要的是轻量型，而不是大而全；需要的是可跨平台工作，而不是局限在Windows平台；需要的是可自定义、可扩展性，而不是局限的设备选择。因此设计一款可跨平台的，轻量型的并且可以高度自定义的组态软件是有必要的，本文将提出一种设计方案并且进行相应实现。

2.1 组态软件的结构

在组态软件出现以前，控制系统一般都会设计人机交互界面，这样可以对监控对象有一个全局的把控。相关的控制算法以及行业相关的工艺要求都需要非常专业的人员才可以进行操作，而对于界面的开发则对开发人员的专业限制比较小。对于一个系统的设计，一般是控制模块与界面是同时进行设计的，因此会造成软件的复杂度、耦合性大大增加，同时导致开发人员不能尽量发挥所长，这样就会使得整个项目的开发周期不断加长。而且即使完成了产品的开发工作，也不一定能够很好的满足现实的需求，因为可能由于工艺的改变，或者控制流程的变化，从而使得原有的设计存在问题，这时可能会对整个项目进行重新设计重新开发，因为整个控制模块和界面模块混在了一起，这将产生巨大的人力物力花费。

为了能够很好的适应现实需求的多样变化，组态软件产生了。组态软件通过将各个功能进行模块化，然后采用如“搭积木”的方式，将需要的各个功能模块加入到工程中，然后进行相应的配置，进行适当的个性化处理，这样就可以生成一个功能满足需求的系统。组态软件通过将各个功能进行模块封装的方式，来使得整个系统的耦合性降低的。一般组态软件会将控制部分和界面部分进行分离，这样就使得控制算法可以设计成一个一个独立的模块，相应的专业开发人员将只关注自己相关部分的设计，从而让设计更加完善以及可靠。同时对比以前，控制系统的控制部分和界面部分是作为一个整体来开发的，算法往往糅合到整个设计之中，这就使得算法的实现根本不能进行复用，这就会导致公司进行重复开发，从而增加了生产成本。而且组态软件通过不断的累积控制算法模块，本身就使得自身的价值不断提升，而且这样还降低了企业的生产成本。同时组态软件还会提供相关行业的一些解决方案，这就使得企业的设计周期大大缩短。



图2-1 组态软件的工作方式

如图2-1所示，组态软件主要分为三个部分：开发系统部分、工程文件和运行系统部分。

开发系统部分主要是系统开发工程师使用，工程师通过组态软件提供的交互式开发系统，通过拖拽、移动、配置和自定义添加功能等方式来对目标系统进行组态。整个开发系统由多个模块组成，如图元模块、变量配置模块、系统配置模块以及查询、报警模块。各个模块提供了相应的各种控件以及参数配置界面，开发工程师选定工程需要的相应模块，然后对其进行参数的配置，从而满足生产工艺的需求。

工程文件部分主要是记录工程师通过开发系统进行开发后生成的各种结果文件，这些文件记录了开发过程中的各种配置参数以及图形显示的位置参数，通过多种文档存储技术将其记录下来，然后供以后修改系统或系统运行时使用。

运行系统部分由交互界面模块、控制模块、通信模块和历史数据处理模块组成。它利用生成的工程文件，然后形成交互式界面，供监控人员使用。运行系统部分的程序逻辑都是一样的，只是通过不同的工程文件来得到差异化的展现，而工程文件又是开发工程师的设计意图，因此最终运行系统所展示的也将是开发工程师的想法。

因此，整个组态软件的工作流程也就非常清晰了。开发工程师通过开发系统，利用其提供的相关功能或者自定义一些功能来表达自己的设计意图，然后开发系统生成相应的工程文件，运行系统利用这些工程文件再现了开发工程师的设计意图，最终得到一个具有人机交互界面的监控系统。同时，如果要对监控系统进行修改，也只是通过开发系统修改了相关工程文件，这样就可以实现在监控系统运行的过程中对监控逻辑进行修改，并且不需要停止监控系统的运行。从而可以看出，整个过程只是通过对相关部件进行组态、配置就完成了（除了需要添加一些自定义的功能外），这也是组态软件存在的意义。

本文的工作也就是要完成开发系统、工程文件组织和运行系统的相关模块的设计与实现，描述如何解决其中遇到的各种难题以及对应的解决方法。

2.2 开发系统的总体框架

开发系统由多个部分组成，而且为用户提供了良好的可交互式界面，用户可以通过相应的指导完成工程设计。本文只是提出一种开发系统总体框架的设计，并且完成了基本模块的实现，因此很多与行业工艺密切相关的模块并没有进行深入探索，但是在整体框架的设计过程中考虑到了这种需求，也预留了相应的可扩展接口，这样就可以方便开发人员根据实际的需求进行相应的功能扩展，从而体现出了该款组态软件轻量型的特点。



图2-2 开发系统组成

如图2-2所示，开发系统主要由四个部分组成：图元模块、变量配置模块、系统配置模块和查询、报警模块。下面将对四个模块进行分别介绍：

（1）图元模块

图元模块主要包含三个功能部分：图形库、图元管理器和画布管理器。

图形库：包含点、线（直线、折线和曲线）、多边形（三角形、矩形）以及圆等基本图形的绘制，同时还有为用户提供文本输入的控件。此外，图形库还包含一些拟物化的图形，比如阀门、开关、电机、按钮、指示灯以及仪表等，这些图形能够生动地再现生产现场的生产过程。不管是基本图形还是拟物化的图形，用户可以根据自己的需求将其进行适当的变形，从而满足工程的视图效果。同时每个图元都可以进行参数配置，与相应的变量进行关联，这样就使得图形能够根据实时的生产数据进行相应的状态改变。而且图元之间还可以进行动画连接，因为在实际生产过程中，生产是一个动态的过程，用动画的方式将其展示出来是合理的。

图元管理器：在组态软件中存在很多图元，因此图元的管理也是一件很复杂的事情。图元管理器首先要将图元进行分类，然后使得用户能够很方便的找到自己需要的图元；其次，图元管理器还要以适当的方式，在恰当的时候为用户在画板上生成图元，并将其显示出来；再者，图元管理器还需要允许用户添加自定义的图元，因此需要一套机制来保证这个功能；最后，图元管理器还要能从动态链接库中将图元导出。

画布管理器：组态软件中开发系统是非常重要的一块，因为它是在与用户打交道，而画布又是开发系统中最重要的一块，这是用户设计思想的预览图。画布管理器需要实时记录目前用户添加的图元，以及每个图元的配置信息。同时画布还需要能够记录用户的操作，这样方便用户能够将设计工作返回到某一状态。最后，画布还需要记录屏幕的尺寸信息，方便在运行系统中能够以适当的比例重现设计画面。

（2）变量配置模块

变量配置模块由三个功能部分组成：普通变量、结构变量和变量关联。

普通变量：包含整型、浮点型以及布尔型变量。这些都是一些基础型的变量，在整个工程设计中，每个变量都有唯一的标识符，通过这个标识符可以全局的引用它。每个变量都有相应的属性，这是开发人员根据实际需求来确定的。每个变量都需要确定变量名、变量值的来源、变量的类型以及变量的报警属性，为此变量配置将会有专门的对话框进行处理，同时变量配置的信息将有专门的文件进行记录。

结构变量：结构变量是由两个及以上的普通变量构成的，这样的好处在于对功能相同的变量进行统一管理，方便引用。结构变量和普通变量是共用同一套标识符系统的，因此在使用上是统一的。

变量关联：很多图元需要获取实时的数据来改变自己的状态，而获得数据的来源只能通过变量，因此要提供一种机制来使得图元和变量能够关联起来，为此需要设计相应的数据结构来完成这项功能。

（3）系统配置模块

系统配置模块包含三部分：监控站点配置、驱动配置和通信方式配置。

监控站点配置：主要对需要进行监控的站点进行相关配置。如站点需要管理的数据、命令操作以及相关的标识符等。

驱动配置：由于每个站点通信格式都不相同，因此需要为此提供相应的驱动，这样才能让监控系统采集到有效的数据。这里的驱动配置只是配置相关驱动程序存放的位置，以及相应的路径信息等。

通信方式配置：每个站点与主机的通信方式有很多（IP/TCP、串口和CAN等），因此为了能够让监控系统识别，从而使用适当的方法，开发人员需要对每个监控点与主机的通信方式进行配置。

（4）查询、报警模块

查询、报警模块主要包含两个功能部分：报警系统和历史数据查询。

报警系统：监控系统主要完成对生产过程的实时监控，因此它会分析采集回来的现场数据，然后做出相应的处理，其中比较重要的一项就是向相应的工作人员发出警报，使其能够迅速处理存在的问题。对于报警系统的设计，关键点在于对数据的处理，而现场数据在组态软件中都被抽象成了变量，因此变量中的一个重要属性就是与是否报警相关的。开发人员可以通过配置相关参数，达到设置报警界限、警报优先级以及警报显示形态等内容。

历史数据查询：在一个监控系统中，操作员往往需要了解过往的生产状况，因此需要获得以往采集的数据，历史数据查询功能部分主要为操作员提供这样一种查询接口，方便其根据相应的条件进行查询，如根据站点、变量、时间、命令发送情况等。

2.3 运行系统的总体框架

运行系统是组态软件工作后的最终成果，开发人员的意图将通过运行系统展现出来。运行系统通过读取工程文件，然后进行相应的操作，最后使得监控系统能够正常工作。运行系统包含了主要的控制流程，通过统一的参数配置来达到完成不同任务的目的。



图2-3 运行系统组成

如图2-3所示，运行系统由四个模块组成：交互界面模块、控制模块、通信模块和历史数据处理模块。下面将依次介绍这四个模块所完成的主要功能：

（1）交互界面模块

交互界面模块主要包含三部分：图元管理器、图形显示刷新和人机交互。

图元管理器：由于在开发过程中，设计者设计的界面最终存储在文件中，因此在运行系统中需要有专门的一个功能模块来加载各个图元，从而形成监视画面；而且由于图元可能比较多，用一个功能模块来管理也降低了程序的耦合度，同时还使得程序的可扩展性增强。

图形显示刷新：上面开发系统中提到过，很多图元需要根据实时数据来改变自己的显示状态，因此图形显示刷新也是一个很重要的部分，良好的设计可以使得程序结构清晰。

人机交互：在HMI(Human-Machine Interface)中，操作人员可能会根据当前的监控结果做一些命令的下发，这就涉及到两个部分的工作。一、生成命令，并且将其发送到相应的生产现场；二、命令发出或有反馈后，将要及时的在界面上形成相应的动画。同时，操作人员还会希望能够获取历史数据，因此在监控系统中会有与查询相关的交互界面。

（2）控制模块

控制模块包含变量管理器、模块间同步、系统信息管理器和命令管理器等四部分。

变量管理器：上文介绍过变量在组态软件中的重要性，变量是整个组态软件的数据表示核心，通过对它的引用，各个模块可以获得自己关心的实时数据。因此对于变量的一系列操作将会通过一个功能模块来实现，这个模块将负责变量的刷新，保持最新的数据，让各个模块能够向监控人员反馈实时数据；同时该功能模块还要负责最近变量的存储，使得可以快速地获取近期数据。

模块间同步：由于运行系统分为四个模块进行管理，模块之间需要不断的分享信息，因此选择适当的同步方式是非常重要的，设计一套统一协调的同步方法也是必须的。

系统信息管理器：这个功能部分主要是对整个系统的全局配置信息进行管理，比如站点的相关属性，驱动的位置，变量的预处理，变量的解析等。系统信息管理器将这些信息通过适当的数据结构组织起来，提供相应的接口，方便各个模块之间的引用。

命令管理器：上面介绍过操作人员可以通过交互界面导致命令发送，同时整个监控系统也会根据系统配置在适当的时候自主地进行命令发送。多种命令可能就存在一个优先级的问题，因此需要有相应的功能模块来进行管理。命令管理器就是完成这项工作的，它通过将放在一个发送队列中，然后分析命令优先级并排序，再依序将命令交给数据发送器。

（3）通信模块

通信模块由三部分组成：驱动管理器、数据采集器和数据发送器。

驱动管理器：主要对开发者配置的驱动程序进行管理，方便使用的时候进行索引。同时由于驱动大多时候是以动态链接库的形式提供的，因此驱动管理器还要完成驱动加载的工作，利用有效的机制避免由于动态链接库的反复加载和卸载导致的系统性能下降。

数据采集器：主要完成从各个站点采集数据的工作。数据采集器是较高级的抽象层，通过这一层可以屏蔽不同通信方式的差异，从而使得开发者更容易使用，同时这样也使得程序的可扩展性得到提升。

数据发送器：主要完成向各个站点发送数据的工作。其设计思想和数据采集器一样，只不过数据发送器需要根据不同的站点将数据打包好。

（4）历史数据处理模块

历史数据处理模块包含历史数据操作和数据库管理两个部分。

历史数据操作：主要包含查询、删除历史数据。组态软件中有相应的空间可以完成数据库的查询和修改操作。

数据库管理：由于监控软件不仅需要实时了解监控现场的数据，而且有时还要查询以前的数据，因此所有的数据都应该进行存盘，为此需要有专门的数据库来管理。因为数据可能分为几种类型（采集回来的数据、发送出去的数据），为了方便管理需要配置多个数据库，因此需要进行相应的管理。

2.4 工程文件设计

组态软件只是提供给开发人员的一种设计工具，真正体现开发人员的设计成果的内容还是最终生成的工程文件。工程文件作为一座桥梁，将开发系统和运行系统联系其来，开发人员在开发系统上进行设计工作，然后在运行系统上展示设计意图。因此对于工程文件的设计是组态软件中很重要的一部分，良好的结构设计可以使得软件的设计变得简单，同时使得软件的可扩展性得到提升。



图2-4 文件组织格式

组态软件中所有生成的文件的基本格式如图2-4所示，文件一般分为两个部分：文件信息和数据。

文件信息主要是对文件做一番描述，使得运行系统能够区分不同类型的文件，从而采取相应的措施。一般包含如下几项：

* 标识符：组态软件生成的文件分为几类，因此需要标识符来确定文件的类型。
* 版本号：版本号表示文件是由哪个版本的组态软件生成的，这样区分是为了防止不同版本之间的交错使用，从而产生错误。
* 幻数：用来识别版本类型，有时可以通过后缀名来识别文件类型，但是后缀名可以修改，因此通过幻数可以唯一确定文件类型，从而使得文件得到正确地处理。
* 创建者、创建时间、修改时间：这些都是工程创建和处理时的一些基本信息，这些信息使得工程能够被很好的管理。

数据部分承载着文件的主要内容，其中通过开发系统进行的各种配置信息都将记录在这里。一般一个文件会包含多个数据项，而每个数据项由两部分组成：标识符和数据。标识符作为这个数据项的唯一标识，数据则是其所带的内容。数据一般包含多个信息点，因此一个信息点一般有三部分确定：类型、长度和数据。类型表示的是有效数据的形态，长度代表的有效数据的大小，而数据则是真正的有效数据。通过这种方式一个数据项可以包含多个数据信息点，这和实际情况是相吻合的，比如在变量配置的过程中，有些变量不需要报警属性，而有些又需要，因此这样就会造成处理的不统一，如果有效数据是变长的，那么这种不统一将可以被避免，这样就可以通过实际的情况对数据进行解析。

组态软件生成的文件包含以下几种类型：

1. 工程索引文件：包含工程的一些基本信息，如项目名称、公司名称等。其次工程索引文件还将给出其它文件的路径信息，通过这些信息可以校验工程的完整性，只有在工程是完整的情况下，才会采取下一步的解析工作。同时工程索引文件还要包含监控软件的一些系统配置信息，如IP地址、端口号等信息。
2. 监控站点配置文件：描述监控软件需要监控的站点的基本信息，由于监控软件一般不止监控一个站点，因此需要对不同的站点进行特殊化的配置。监控站点配置文件还将包含驱动的相关信息，同时还需要记录通信方式。
3. 变量配置文件：组态软件中数据是通过变量来展现的，因此变量配置文件是非常重要的，它记录了每个变量处理操作。
4. 界面显示文件：开发工程师通过在画布上进行画面设计，然后开发系统将整个界面写入文件，然后运行系统通过读取界面显示文件，从而再现开发工程师设计的画面。
5. 数据库配置文件：主要记录整个系统中使用的数据库，以及每个数据库的简要描述。

2.5 相关技术研究

正如本文的题目，本文主要依托的开发工具是Qt。Qt是一个著名的跨平台的C++应用程序开发框架，利用它开发的应用程序可以在多个平台上运行，它提供了丰富的接口，并且都是用户友好型的。很多著名软件都是使用Qt进行开发的，如Autodesk Maya、Google Earth、Skype和WPS Office等。同时Qt也支持很多平台，如基于Linux/Unix(Solaris、AIX、HP-UX等)，基于Apple平台(macOS、iOS)，基于微软平台(Windows系列、Windows CE以及Window RT系列)，甚至于一些嵌入式中的实时操作系统平台也提供了支持，如VxWorks和QNX。

Qt诞生于1991年，由Trolltech（奇趣科技）发布，在2008年诺基亚斥资1.5亿美元收购了Trolltech，将Qt用于Symbian程序的开发。在2012年，诺基亚又将Qt出售给Digia公司，由其继续开发。

组态软件是一款具有人机交互界面，并且还要生成人机交互程序的软件，因此有强大的GUI接口是选择开发工具的重要参考因素。而Qt刚好能够满足这样的要求，它提供了丰富的GUI接口，并且还支持跨平台工作，能够满足这样的条件归结于它的整个库架构。



图2-5 Qt的GUI接口实现策略

如图2-5所示，Qt的GUI接口的实现一共有三种类型，正因为这样构造整个Qt的GUI接口，从而使得通过Qt开发的软件只需要通过很少的适配工作就能在多个平台上进行移植。下面将具体介绍这三种策略：

* **API映射：**所谓映射，就是将操作系统中已经存在的具有同等功能的API进行一次封装，使得在不同的平台上具有相同的接口。例如比较常用的两个操作系统平台Windows和Linux，它们都各自提供了自己平台的相关的GUI接口，比如划线的API，但是两个操作系统提供的参数，或API名称都不一样，但是功能却是一样的，因此Qt对这类API进行一次映射，这样就屏蔽了系统差异。
* **API模拟：**每个系统平台都有自己的独特性，能够提供的功能也不尽相同，因此存在这种可能，在某个平台上具有的API，在另外一个平台上没有与之功能相对应的API。这是Qt就会利用基本的API来模拟出这种功能，从而在多个平台上都提供相同的接口。虽然这样的工作量很大，但是一次开发将惠及以后的多次利用，这样的努力是值得的。
* **GUI模拟：**GUI模拟与API模拟的差别在于GUI模拟提供的是多种API共同作用导致的一种结果。也就是说GUI模拟提供的是一种比较复杂的功能，例如一些复杂的控件，对话框等。这种模拟也是相当有必要的，比如常用的文件选择框，在有些平台上就没有提供这样的功能，因此通过GUI模拟就能够达到提供相同接口的目的。

对于组态软件的开发，提供强大的GUI接口是非常必要的，但是也需要很多其他功能的支持，例如网络模块、串口通信模块、蓝牙模块等。Qt提供了很多额外功能的支持，如XML、Bluetooth、Serialport、NFC、D-Bus和OpenGL等库，这样方便了开发者，同时也为开发者省去了移植这些内容的工作。

2.6 小结

本章主要介绍了组态软件的整体框架，主要包含三个部分：开发系统、工程文件和运行系统。分别对三个部分进行了整体的介绍，并且设计了整体的框架，为以后的详细设计以及实现奠定了基础。最后本章还对本文的开发工具Qt进行了介绍，详细讲解了为什么选择它进行组态软件开发的理由，同时还介绍了其对跨平台开发支持所采取的一些策略。

第三章 组态软件开发系统的设计与实现

本章主要讨论组态软件开发系统的关键部分的详细设计，以及对应的实现。组态软件的开发系统关键模块包含四部分：图元模块、变量配置模块、系统配置模块和查询报警模块。下文将详细论述这四个部分的设计思想，以及对于实现过程中遇到的关键难点的解决办法。

3.1 图元模块

3.1.1 图元简介

组态软件为用户提供了一种能够快速构建具有人机交互界面的控制系统解决方案，其中人机交互界面是非常重要的一部分。为了得到最佳的用户体验，人机交互界面通常做得逼真生动，因此早期开发人员通常会为对应的项目设计图形，但是这样的图形往往与所设计的系统密切相关，并不能使用在其他相似的项目中，这样就造成了极大的浪费。后来开发工程师总结了一些领域的图形显示效果，从而将每一种显示独立出来，以空间的方式存在，这样就可以在多个项目中复用，从而图元也就诞生了。图元，意思是原子的意思，也就是最小的控制单位，用户可以通过将多个图元组织在一起，从而产生一个有意义的表达。

图元一般具有以下属性：

* 图形：即图元在界面上的显示效果，可以是一些基本的图形，如线、三角形、矩形圆等；也可以是一些拟物化的图样，如阀门、开关、电机等。
* 拖拽：由于图元是作为一个独立的控件，因此最终需要在一个画布上显示，在画布上，图元的位置可以由用户随意决定，用户可以通过拖拽图元将其放在适当的位置。
* 缩放：用户可以根据需要将相应的图元进行放大和缩小。
* 属性配置：每个图元都具有自己的属性，用户可以通过属性配置来设置图元的颜色、动画效果以及变量关联等相关信息。

对于一款组态软件，图元系统的设计非常重要，因为图元是用户对组态软件的最直观的感受，因此组态软件需要有丰富的图元，能够满足用户的各种需求。但是用户的需求是在不断变化的，因此图元系统的设计还要满足可扩展性，用户在组态软件不能满足其需要的情况下可以自己设计图元，并将其添加到组态软件的开发系统中。本文所设计的组态软件由于时间人力的限制，因此图元并不怎么丰富，还在继续完善中，但本文图元系统的设计框架非常利于用户自由地添加图元，因此这也可以弥补图元不丰富这个缺点。

3.1.2 图元的设计与实现

3.1.2.1 图元框架设计

上文已经介绍过，图元分为两类：基本图元和拟物化图元。基本图元包含点、线、多边形和圆等。拟物化的图元主要是通过图片来显示现实中的一些设备，如电机、开关、阀门和仪表等。在进行图元设计的时候，需要将两类图元统一起来，方便后续的管理与操作，因此基于C++语言的多态的特性，本文主要采用继承的方式来实现图元。



3-1 图元的继承框架

如图3-1所示，Primitive类继承于Qt框架的QMdiSubWindow类，从而使得Primitive类具有QMdiSubWindow类相关属性和操作，因此只需要对Primitive的相关操作进行重载，那么就能实现相关功能。同时可以看出，不管是基本图元还是拟物化图元，都将继承于Primitive，这就使得在管理这些图元的时候，利用其父类指针就可以设计出统一的接口。

用户对图元的操作主要包含两部分：变形和属性配置。变形意味着用户可以通过拖拉改变图元在画布上的位置，通过拖拽来改变图元的大小。属性配置即是用户对当前图元的个性化配置，以及显示功能上的配置（如颜色、动画等）。通过这两步操作，用户能够构建出自己想要的界面显示效果。

对于变形相关的操作，需要借助Qt的事件系统来实现。对于具有交互界面的系统来说，往往会发生鼠标移动，鼠标点击，键盘输入等操作事件，在Qt中将这些操作事件统一抽象为事件来处理。一旦用户通过鼠标或键盘进行了相关操作，系统将会产生一个事件，Qt的事件系统将会捕捉到事件，然后将其分发给具有焦点的控件，此后会有事件分发器按照事件的类型将其分配到各自的处理函数中去。因此如果需要改变这些事件的默认处理方法，用户只需要重写相关的事件处理函数即可实现。对于变形操作，涉及到的主要是鼠标的操作，因此需要对鼠标事件的处理函数进行重载，对于本组态软件来说，只需要重写Primitive类的相关函数即可，这样由于继承的关系，所有的图元都将具有相同的特性。

属性配置是用户通过图元的属性配置窗口来实现的，对于不同的图元，具有的相关属性也是不一样的，因此每个图元需要具有各自的配置属性框，为此每个图元都需要管理各自的配置信息，但是为了方便后续对图元的统一管理，因此每个图元的配置属性窗口的相关接口都是通过重载虚函数的方法实现的。

图元自身还必须具有两个关键属性：图形显示和存储。图形显示表示的是图元呈现给用户的形态，为了实现每个图元显示出不同的图像，需要Qt系统中的重绘函数。对于储存，由于需要将所有的设计操作都存储为文件，方便后续的修改和使用，因此对于每个图元都将有相应的序列化函数和反序列化函数，来实现图元的存储与再现。

3.1.2.2 图元变形

如上文所述，图元变形包括移动和缩放两部分。这两个动作都需要用户通过鼠标来完成，因此将会涉及到与鼠标事件处理相关的函数。

表3-1 鼠标事件处理函数

|  |  |
| --- | --- |
| **处理函数** | **函数说明** |
| mousePressEvent(QMouseEvent \*event) | 鼠标任意键按下时调用 |
| mouseReleaseEvent(QMouseEvent \*event) | 鼠标按键释放时调用 |
| mouseMoveEvent(QMouseEvent \*event) | 鼠标移动时调用 |

图元变形中会处理三类鼠标事件，分别是鼠标按键按下、鼠标按键释放和鼠标移动。在Qt中，相应的显示控件都有相关的处理函数，如表3-1所示。由于在Qt中大多数与界面显示相关的类都继承于QWidget类，而此表3-1的三个函数在QWidget类中是以虚函数的方式实现的，只是实现了一些默认的处理逻辑，因此如果需要对相应的事件进行特殊处理，只需继承相关的类，然后重写这三个函数即可。下文将描述如何利用这三个函数来实现图元的相应变形。

（1）Qt的坐标系统