基于Gstreamer的Chromium音视频播放系统的设计与实现

摘 要

此处应该写摘要

关键词 关键词1，关键词2，关键词3，最后一个关键词无标点

THE DESIGN AND IMPLEMENTATION

OF CHROMIUM AUDIO AND VIDEO PLAYER

BASED ON GSTREAMER

ABSTRACT

ab (h the high.

KeywordsHCCI, chemical kinetics, numerical simulation, DME

**目 录**

[1 绪论 1](#_Toc466211207)

[1.1 选题背景及意义 1](#_Toc466211208)

[1.2 与课题有关的国内外研究现状 1](#_Toc466211209)

[1.3 本文的研究内容及论文组织结构 1](#_Toc466211210)

[1.4 本章小结 1](#_Toc466211211)

[2 相关理论与技术基础 2](#_Toc466211212)

[2.1 浏览器 2](#_Toc466211213)

[2.1.1浏览器简介 2](#_Toc466211214)

[2.1.2 浏览器特性 3](#_Toc466211215)

[2.1.3 浏览器基本工作原理 5](#_Toc466211216)

[2.1.4 浏览器内核架构及Chromium浏览器总体架构 12](#_Toc466211217)

[2.3 Gstreamer基础 24](#_Toc466211218)

[2.3.1 Gstreamer是什么 24](#_Toc466211219)

[2.3.2 Gstreamer特点 24](#_Toc466211220)

[2.3.3 基本概念 24](#_Toc466211221)

[2.3.4 总线（Bus） 29](#_Toc466211222)

[2.3.5 Gstreamer使用方法 31](#_Toc466211223)

[2.3.6 Gstreamer音视频同步机制 32](#_Toc466211224)

[2.4 音视频编解码压缩标准 34](#_Toc466211225)

[2.4.1 音频编解码压缩标准 34](#_Toc466211226)

[2.4.2 视频编解码压缩标准 36](#_Toc466211227)

[2.5 本章小结 39](#_Toc466211228)

[3 需求分析 40](#_Toc466211229)

[3.1 功能需求 40](#_Toc466211230)

[3.1.1 所支持的音视频文件格式 40](#_Toc466211231)

[3.1.2 提供给第三方应用的支持 40](#_Toc466211232)

[3.1.3 用例列表 40](#_Toc466211233)

[3.2 性能需求 42](#_Toc466211234)

[3.2.1 对于网络音视频文件 42](#_Toc466211235)

[3.2.2 对于本地音视频文件 42](#_Toc466211236)

[3.3 可靠性需求 42](#_Toc466211237)

[3.4 资源使用需求 42](#_Toc466211238)

[3.5 设计要求 43](#_Toc466211239)

[3.5.1 设计原则 43](#_Toc466211240)

[3.5.2 编码要求 43](#_Toc466211241)

[3.6 本章小结 43](#_Toc466211242)

[4 设计与实现 44](#_Toc466211243)

[4.1 Chromium中音视频框架分析 44](#_Toc466211244)

[4.1.1 Chromium视频机制 45](#_Toc466211245)

[4.2 设计 48](#_Toc466211246)

[4.2.1 概要设计 48](#_Toc466211247)

[4.2.2 Chromium Media Portability Implement分析与设计 49](#_Toc466211248)

[4.2.3 Media Service分析与设计 58](#_Toc466211249)

[4.3实现 61](#_Toc466211250)

[4.3.1 Chromium Media Portability Implement相关的实现 61](#_Toc466211251)

[4.3.2 Media Service相关的实现 62](#_Toc466211252)

[4.3.3 AVChannel Manager相关的实现 64](#_Toc466211253)

[4.4 本章小结 65](#_Toc466211254)

[5 测试与优化 66](#_Toc466211255)

[5.1音频测试 66](#_Toc466211256)

[5.1.1 网络音频测试 66](#_Toc466211257)

[5.2视频测试 67](#_Toc466211258)

[5.2.1 网络视频测试 67](#_Toc466211259)

[5.2.2 本地视频测试 68](#_Toc466211260)

[5.3 优化 68](#_Toc466211261)

[5.3.1 占用资源的优化 68](#_Toc466211262)

[5.3.2 视频描画效率的优化 69](#_Toc466211263)

[6 总结与展望 70](#_Toc466211264)

[参考文献 71](#_Toc466211265)

[致 谢 72](#_Toc466211266)

[攻读学位期间发表的学术论文目录 73](#_Toc466211267)

1 绪论

1.1 选题背景及意义

如今网络已经应用于人们日常生活中的各个环节，成为了其重要的组成部分。然而随着计算机网络通信技术、多媒体技术等的不断发展，静态的网页和简单的文字已经满足不了人们对网络信息的需求，人们更倾向于通过网络获取包含丰富多彩的音频和视频信息。为此，多媒体网络技术作为一种计算机综合处理动态图文信息的技术，凭借其很好的集成性、友好的交互性以及准确的实时性，将音频和视频的特性相结合[1]，将人们带到了一个丰富多彩的网络世界，如今这种技术已经得到广泛的应用，大大的便利了人们的日常生活。

当下，HTML5技术、音视频技术都已经被市场上主流浏览器支持，大多数的音视频网站也都同时提供Flash和HTML5两种页面。特别是Chrome浏览器对于HTML5的支持[2]，基于Chrome和HTML5的视频播放系统，可带来流畅的播控体验，并且浏览器性能消耗更低。这样的方法在嵌入式系统、移动设备中的互联网视频应用方案更能发挥其特有的优势。同时满足跨平台，高性能，体验友好的网站需求。

车载多媒体终端作为一款嵌入式移动设备， 被广泛搭在应用消费型轿车上[3]。随着移动互联的大力发展， 消费者已经不再满足于传统本地和外部存储介质（例如U盘）音视频文件播放，等等，更希望在车载移动终端上随时随地样使用网络音视频播放服务。

在车载多媒体终端上搭载浏览器就显得很有必要，开源的Chromium浏览器（chr­om­e是Chromium的稳定版，不开源）以其精简的界面、快速的响应、流畅的体验和开源特性获得众多厂商的青睐。

然而， 鉴于多媒体系统功能复杂程度的提高，且不同的多媒体系统硬件平台和软件平台也存在着差异，这使得开发者必须为这些平台重新编写多媒体处理的代码。在开发应用程序时，开发人员也要花费大量的时问和精力来对这些底层的多媒体处理进行整合和使用[4]。

Gstreamer 框架是一种管道的设计思想[5]，基于该架构可以任意开发需要增添的媒体格式、传输协议的流媒体数据处理应用[6]。它提供的功能性元件可以有选择性的被安装到应用管道程序中是该架构最显著的优点，若采用GStreamer这个强大的通用多媒体框架，应用程序开发人员就可以将底层多媒体处理的整合和使用交给GStreamer，从而将精力集中于现有的媒体上，避免在如何处理后端、插件机制等问题上花费过多的时间。除此之外，被封装成的共享库的插件所提供的元件可以被多个应用程序共享使用[7]，省去了一些播放器代码的重复编写。基于GStreamer 架构的播放器不仅能给用户提供更多、更好的音视频享受，简化了集成和复用，快速响应市场需求，提高产品竞争力。

综上， 在嵌入式车载多媒体设备上实现基于GStreamer框架的Chromium音视频播放在当今移动互联时代的工程应用上很有现实意义.

1.2 与课题有关的国内外研究现状

浏览器是指可以显示网页服务器或者本地文件系统的 HTML 文件内容，并让用户与这些文件交互的一种软件[8]。互联网的革命浪潮带动了众多技术的快速发展，网络浏览器作为互联网的最重要的终端接入口之一在短短的二十多年时间里日新月异。经过近二十年的发展，现在的浏览器已经有几十种之多。市场占有率在前面几位的主要有 IE、Firefox、Google Chrome、Safari、Opera 等[9]。特别是在进入21世纪后，越来越多的功能被加入到浏览器中来。在W3C等标准组织的积极推动下逐步形成HTML5技术，更成为了浏览器发展的火箭推进器。

当前，已经有很多浏览器成功扩展或移植到嵌入式平台的案例。较多的表现在互联网电视领域，例如基于Widget的Yahoo ConnectedTV，增加了 Web 页面的扩展功能，能够在Linux下的电视一体机终端或者机顶盒上运行，同时传统电视以及互联网功能也均可以正常应用。基于 Android 的 GoogleTV以 Android 系统和谷歌 Chrome 网络浏览器为基础，融合传统电视服务模式及丰富 Web 服务于一身的综合娱乐体验系统。GoogleTV 相比Yahoo ConnectedTV 的方案会略显复杂，除了涵盖软件系统外，还将外围设备与硬件整合在一起，以此丰富生态系统的完整性。

一般说来，浏览器都是基于浏览器排版引擎开发的，很少有人或公司从头开始编写浏览器。目前常用的浏览器引擎有如下几种[10,11]：

Trident，是 Microsoft Windows 操作系统的浏览器 IE（Internet Explorer）的排版引擎的名称。

Gecko，一套开源的、以 C++编写的网页排版引擎。Mozilla Firefox 浏览器就是以它作为浏览器引擎的。Gecko 是跨平台的，可以运行于 Microsoft Windows、Linux 和 Mac OS X 等操作系统之上。

KHTML，Konqueror 浏览器所使用的引擎。该浏览器引擎用 C++语言编写，它的优点是速度快，缺点是对错误语法的容忍度低。

WebKit，开源浏览器引擎，由 KDE 的 KHTML 修改而来。现在使用它作为引擎的浏览器有 Google Chrome、Midori、Safari、Maxthon3 等，还有其他一些浏览器也计划转到 WebKit 引擎上来。

Presto，由 Opera Software 开发的浏览器排版引擎。使用它的浏览器有 Opera、任天堂 DS、Wii 浏览器等。

Tasmam，微软推出的 IE for Mac 所使用的排版引擎。

2008年，Google公司以苹果开源项目WebKit作为内核，创建了一个新的项目Chromium，Chromium是谷歌开源网页浏览器计划的代号[12]。该项目的目标是创建一个快速的、支持众多操作系统的浏览器，包括对桌面系统和移动操作系统的支持。Chromium使用了同Safari一样的浏览器内核。在Chromium的基础上，Google发布了自己的浏览器产品Chrome。不同于WebKit之于Safari浏览器，Chromium本身就是一个浏览器，而不是Chrome浏览器的内核，Chrome浏览器一般会选择Chromium的稳定版本作为它的基础。Chromium是开源试验场，它会尝试很多创新的并且大胆的技术，当这些技术稳定之后，Chrome才会把它们集成进来。也就是说Chrome的版本会落后于Chromium；其次，Chrome还会加入一些私有的编码解码器以支持音视频等；再次，Chrome还会整合Google众多的网络服务[13]。自推出以，以其清爽精炼的用户界面、快速的渲染和脚本执行效率迅速壮大成为最流行的浏览器[14]。

目前，嵌入式系统面临一个巨大的发展机遇，后PC时代对嵌入式系统技术也提出了更广泛的需求[15]。嵌入式设备也凭着精湛的开发技术具备了许多原来所没有的功能，PC机上的许多应用也在嵌入式设备上得到了成功的移植和充分的应用[16]。在嵌入式系统技术快速发展的同时无线网络技术也日益成熟，以往单调的媒体服务也不再满足人们的生活需求。在线直播、网络视频等网络媒体服务随之发展起来，这也对嵌入式设备对多媒体信息处理的能力上也提出了更高的要求。

随着中国三大运营商不断推出各种移动网络业务，在一定程度促进了移动网络的大规模普及，使得移动多媒体业务有了更广阔的市场和前景[17]。在现阶段，作为一个移动智能设备，多媒体应用是一个必不可少的功能之一。多媒体的播放，包括本地文件和网络的流媒体，都需要强大的内置多媒体播放引擎的支持，这是多媒体功能满足用户体验的重要保证。

各种嵌入式设备上都有一些不同的浏览器和播放器等多媒体处理软件。现在媒体文件的格式种类非常多，每种格式的编解码都有不同的实现代码，从而使得嵌入式设备上的解码库也变得非常复杂[18]。并且这些解码库的安装也需要许多的技术支持，同时也会受到一些限制。因此，在嵌入式设备上开发播放器就会变得比较繁琐，如果针对每一种音视频文件都编写相应的解码程序就会变得非常困难也完全没有必要。

而Gstreame就为简化Linux下多媒体的开发提出了一种比较简洁的框架结构[19]。开发者可以利用这种框架结构设计一系列媒体处理模块来进行音频、视频处理。虽然Gstreamer的开发人员和开发资料比较少，具有一定的开发难度，但是相信这种多媒体框架以其简洁的开发机制和模块化的开发结构一定会成为Linux环境下主要的多媒体开发工具。

Gstreamer是流行于Linux系统下的多媒体应用程序开发框架，其采用了基于元件和管道的体系结构，框架中的所有的功能模块都被实现成可以插拔的组件，并且在需要的时候能够很方便地安装到任意一个管道上，由于所有插件都通过管道机制进行统一的数据交换，因此很容易利用各种插件组装出一个功能完善的多媒体应用程序[20]。

在嵌入式多媒体系统中，多媒体标准技术的各种实现方法，为嵌入式多媒体系统的发展起到了关键的作用。由于在嵌入式系统中，微处理器、存储器等资源的有限，在需要很高资源的多媒体标准技术的实现上遇到瓶颈。但随着 MPEG-1、MPEG-2、 MPEG-4、 H.261、 H.263 等主要的国际标准的硬件级实现，加快了嵌入式多媒体系统的发展。而目前中国的国家标准 AVS 标准，它能够提高编码效率[21]，这个也在一定程度上，解决了软硬件编解码上的效率。

1.3 本文的研究内容及论文组织结构

本文在对Chromium浏览器整体框架分析的基础上，利用当前比较成熟的Gstrea­me­r体系对Chromium的多媒体部分进行新的设计与实现。主要研究的内容包括Chro­m­i­u­m多媒体框架的分析与重构、Gstreamer架构的原理和使用方法、Chromium与Gstreamer的封装与适配。

论文共分为六个章节，各章节的主要内容安排如下：

第1章，绪论部分。主要介绍了浏览器的发展、各浏览器引擎的基本概况、Chro­m­ium的历史背景、Gstreamer技术的基本思想，并阐述了该文的背景和意义以及相关技术研究成果和未来发展趋势。

第2章，基本理论的介绍。介绍了浏览器的特性，并以主流的渲染引擎WebKit和开源的Chromium工程为重点分析了浏览器的工作原理，以及浏览器的架构的设计思想；比较全面的阐述了Gstreamer的框架理念、使用方法；并对普遍的音视频编解码标准做简要的说明。

第3章，需求分析。对车载车载多媒体终端要完成的功能、性能，和资源消耗等做了必要的需求分析。

第4章，设计与实现。基于第2章和第3章的系统介绍和分析，对Chromium的源代码进行了新的构建与布局，将Gstreamer应用于Chromium音视频播放系统。从源代码分析、到设计、到实现，完成整个工程的实现。

第5章，测试与优化。对第4章的成果进行测试与验证，并提出在嵌入式系统资源有限的情况下对系统进行优化的方案和实现。

第6章，总结与展望。总结了本文的研究成果与不足，并针对其功能扩展和应用领域提出了进一步的研究方向。

2 相关理论与技术基础

2.1 浏览器

网页浏览器（英语：Web Browser，常被称为浏览器（Browser）,之后将简称为浏览器）是一种用于检索并展示万维网信息资源的应用程序。这些信息资源可为网页、图片、影音、或其他内容，他们由统一资源标志符（Uniform Resource Identifier，缩写URI）标志。信息资源中的超链接可使用户方便地浏览相关信息。浏览器虽然主要用于使用万维网，但也可用于获取专用网络中网页服务器之信息或文件系统内之文件[22]。

2.1.1浏览器简介

互联网的革命浪潮带动着众多技术的发展，其中，浏览器作为互联网最重要的终端接口之一在短短二十多年时间里日新月异，特别是在进入21世纪后，越来越多的技术被加入到浏览器中来。在W3C等标准组织的积极推动下逐步成型的HTML5技术，更是更为了浏览器发展的火箭推进器。

提到浏览器，不得不提的重量级人物是Berners-Lee，他在上世纪80年代后期90年代初发明了世界上第一个浏览器，最初的名字叫WorldWideWeb，后来改名为Nexus，1991年的时候源代码被公布。它支持早期的HTML标记语言。当然它的功能很简单，只是支持文本、简单的样式表、声音、图片等。但是，在当时的情况下，它是仅有的能够可视化网络内容的浏览器。

1993年 Marc Andreessen领导的团队开发出Mosaic，这就是后来大名鼎鼎的网景（Netscape）浏览器。同样的，在最开始的时候，它所支持的功能也有限，只能显示简单的静态HTML元素，没有JavaScript，没有CSS，更没有目前HTML5各种丰富的功能。不过，网景浏览器还是大受欢迎，获得世界范围内的成功，之后发展迅速，在其顶峰时期，占据了绝大多数的市场份额。

事情的转变源于1995年。受Mosaic浏览器的深刻影响，微软推出了闻名世界的Internet Explorer（以下简称IE）浏览器，自此第一次浏览器大战打响。IE受益于Windows操作系统，获得了空前的成功，其逐渐取代了网景浏览器的领导地位，一直到网景浏览器的消亡，至此，第一次浏览器大战结束。

处于低谷的网景公司在1998年成立了Mozilla基金会，开始凤凰涅槃。在该基金会的推动下，网景公司住到开发了著名的开源项目火狐浏览器（也就是Firefox，后面使用该名称），在2004年发布了1.0版本，拉开了第二次浏览器大战的序幕，这次大战影响深远。受益于IE浏览器发展缓慢，Firefox浏览器自推出以来就深受大家的喜爱，其功能丰富，扩展众多，因此市场份额一直在上升。

然而，第二次浏览器大战并没有结束，就在FireFox浏览器发布1.0版本的前一年，也就是2003年，苹果发布了Safari浏览器，并在2005年释放了浏览器中一种非常重要部件的源代码，发起了一个新的开源项目WebKit（它是Safari浏览器的内核），这拉开了一个新的序幕。同时，值的一提的是，随着移动操作系统和移动互联网的兴起和超快速发展，苹果同样推出了Safari浏览器的移动版，并引入了众多令人激动的功能和强大的移动用户体验，这也是一个新的里程碑。

2008年，Google公司以苹果开源项目WebKit作为内核，创建了一个新的项目Chromium，该项目的目标是创建一个快速的、支持众多操作系统的浏览器，包括对桌面操作系统和移动操作系统的支持。这也就是说Chromium使用了同Safari一样的浏览器内核（这一说法大体上是正确的，实机上也有很多不同）。在Chromium项目的基础上，Google发布了自己的浏览器产品Chrome。不同于WebKit之于Safari浏览器，Chromium本身就是就是一个浏览器，而不是Chrome浏览器的内核，Chrome浏览器一般选择Chromium的稳定版本作为它的基础。Chromium是开源试验场，它会尝试很多创新并大胆的技术，当这些技术稳定之后，Chrome才会把它们集成进来，也就是说Chrome的版本会落后于Chromium；其次，Chrome还会加入一些私有的编码解码器以支持音视频等；再次，Chrome还会整合Google众多的网络服务；最后，Chrome还有自动更新的功能，这也是Chromium所没有的。Chrome浏览器的发展也非常迅速，很快就在个人电脑市场上占有重要的一席之地。

至此，对于桌面系统而言，三足鼎立之势已经形成。微软IE、Mozilla火狐和Google Chrome成了桌面系统上最流行的三款浏览器，三者一起占据了该市场超过90%的浏览器份额。对于移动系统而言，就是另一番情形了。由于苹果的iOS操作系统和Google的安卓系统占据了绝对领先的地位，因而这两个系统的默认浏览器Safari和安卓浏览器变得非常流行。有趣的是，他们都是基于苹果发起的开源项目WebKit。浏览器作为用户访问互联网最重要的接口，也难怪获得如此众多巨头的关注，未来，必将还是浏览器继续高速发展、竞争激烈的场景[23]。

2.1.2 浏览器特性

从最初的仅支持简单功能到如今支持种类繁多的功能和特性，浏览器一直在向前发展，可以预见，今后浏览器的能力会越来越强。那么目前一个浏览器应该包括哪些功能呢？

大体上来讲，浏览器的这些功能包括网络、资源管理、网页浏览、多网页管理、插件和扩展、书签管理、历史记录管理、设置管理、下载管理、账户和同步、安全机制、隐私管理、外观主题、开发者工具等。下面是对它们之中一些重要功能的简要介绍。

* 网络：它是第一步，浏览器通过网络模块来下载各种各样的资源，例如HTML文本，JavaScript代码、样式表、图片、音视频文件等。网络部分其实非常重要，因为它耗时比较长而且需要安全访问互联网上的资源。
* 资源管理：从网络上下载或者本地获取资源，并将他们管理起来，这需要高效的管理机制。例如如何避免重复下载资源、缓存资源等，都是它们需要解决的问题。
* 网页浏览：这是浏览器的核心也是最基本、最重要的功能，它通过网络下载资源并从资源管理器获得资源，将它们转变为可视化的结果，这也是后面介绍的浏览器内核最重要的功能。
* 多网页管理：很多浏览器支持多页面浏览，所以需要支持多个网页同时加载，这让浏览器变得更为复杂。同时，如何解决多页面的相互影响和安全等问题也非常重要，为此，一些浏览器做了大量的工作，例如可能使用线程或是进程来绘制网页。
* 插件和扩展：这是现代浏览器的一个重要特征，他们不仅能显示网页，而且能支持各种形式的插件和扩展。插件是用来显示网页特定内容的，而扩展则是增加浏览器新功能的软件或压缩包。目前常见的插件有NPAPI插件、PPAPI插件、ActiveX插件等，扩展则跟浏览器由密切关系，常见的有Firefox扩展和Chromium扩展。
* 账户和同步：将浏览的相关信息，例如历史记录、书签等信息同步到服务器，给用户一个多系统下的统一体验，这对用户非常友好，是浏览器易用性的一个显著标识。
* 安全机制：本质是提供一个安全的浏览器环境，避免用户信息被各种非法工具窃取和破坏。这可能包括显示用户访问的网站是否安全、为网站设置安全级别、防止浏览器被恶意代码攻破等。
* 开发者工具：这对普通用户来说用处不大，但对网页开发者来说意义却非比寻常。一个优秀的开发者工具可以帮助审查HTML元素、调试JavaScript代码、改善网页性能等。

还有一个值得一提的就是浏览器的多操作系统支持，包括桌面和移动两个领域。目前主流浏览器说支持的操作系统情况，如表2-1所示。从中我们可以看出，Chrome支持目前所有主流的操作系统，后面依次是Firefox、Safari和IE。不过，因为iOS的一些特殊限制，使得Chrome虽然发布了iOS版，但其内核仍然不是自身的，还是iOS系统默认的。而Firefox和IE则直接没有iOS版。

表2-1 操作系统支持

Table2-1 Operating system support

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | IE | Firefox | Chrome | Safari |
| Windows | 是 | 是 | 是 | 是（5.17版本之前） |
| Mac OS | 否 | 是 | 是 | 是 |
| Linux | 否 | 是 | 是 | 否 |
| Android | 否 | 是 | 是 | 否 |
| iOS | 否 | 否 | 是 | 是 |

2.1.3 浏览器基本工作原理

在浏览器中，有一个最重要的模块，它主要的作用是将页面转变成可视化（准确讲还要加上可听化）的图像结果，这就是浏览器内核。通常，它被称为渲染引擎。所谓渲染，就是根据描述或者定义构建数学模型，通过模型生成图像的过程。浏览器的渲染引擎就是能够将HTML/CSS/JavaScript文本及其相应的资源文件转换成图像结果的模块。在介绍浏览器的基本工作原理之前，先介绍一下与网页相关的HTML、JavaScript和CSS。

* HTML：HyperText Markup Language，超文本标记语言，是一种用于创建[网页](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%BD%91%E9%A1%B5)的标准[标记语言](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%A0%87%E8%AE%B0%E8%AF%AD%E8%A8%80)，用于网页的创建和其他信息在浏览器中的显示。它是一种基础技术，常与[JavaScript](https://zh.wikipedia.org/wiki/JavaScript)、[CSS](https://zh.wikipedia.org/wiki/CSS)一起被众多网站用于设计令人赏心悦目的网页、网页应用程序以及移动应用程序的用户界面。其语法比较简单，基本上是一系列的标签（也成为元素），这些标签可以用来表示文字、图片、多媒体等，通常成对出现。[网页浏览器](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%BD%91%E9%A1%B5%E6%B5%8F%E8%A7%88%E5%99%A8)读取HTML文件后，将其渲染成可视化网页。图2-1是一个简单的HTML文件被解释和渲染后的结果，其中左边是HTML文件，右边是用Chrome浏览器展示的结果。



图2-1 一个经典的HelloWorld程序示例

Fig2-1 an example of the classic [Hello world program](https://en.wikipedia.org/wiki/Hello_world_program)

* CSS：Cascading Style Sheets，层叠样式表，是一种用来为结构化文档（如HTML文档或XML应用）添加样式（字体、间距和颜色等）的计算机语言，由W3C定义和维护。CSS最重要的目标是将文件的内容与它的显示分隔开来。在CSS出现前，几乎所有的HTML文件内都包含文件显示的信息，比如字体的颜色、背景应该是怎样的、如何排列、边缘、连线等等都必须一一在HTML文件内列出，有时重复列出。CSS使开发者可以将这些信息中的大部分隔离出来，简化HTML文件，这些信息被放在一个辅助的，用CSS语言写的文件中。HTML文件中只包含结构和内容的信息，CSS文件中只包含样式的信息。
* JavaScript：一种直译式脚本语言，是一种动态类型、弱类型、基于原型的语言，内置支持类型。它的解释器被称为JavaScript引擎，为浏览器的一部分。在HTML历史上的早期阶段，网页内容是静态的，也就是说内容是不能动态变化的。服务器将内容传给浏览器之后，页面显示结果就固定不变了，这显然难以满足各种各样的现实需求。随后JavaScript语言诞生了，该语言是EMCAScript规范的一种实现。因为最初还有其他用于网页的脚本语言，例如Jscrip。所以，标准化组织制定了脚本语言的规范，也就是EMCAScript。而JavaScript作为其中的一个实现，收到了极为广泛的使用。虽然JavaScript语言的定义受到了众多的批评，但是如今，网页已经离不开它了，HTML5（HTML最新的修订版本，2014年10月由万维网联盟完成标准制定）中很多规范都是基于JavaScript语言来定义的。

我们可以暂时可以把渲染引擎看做一个黑盒，渲染引擎的作用可以用图2-2表示，左侧HTML/CSS/JavaScript是输入，图像是输出。

HTML/CSS/JavaScript

浏览器渲染引擎

图像

图2-2 浏览器渲染引擎的作用

Fig 2-2 The role of browser rendering engine

目前主流的渲染引擎包括Trident、Gecko和WebKit，他们分别是IE、火狐和Chrome的内核（2013年，Google宣布了Blink内核，它其实是从WebKit复制出去的，后面再介绍）。这一对应让人看起来好像渲染引擎和浏览器是一一对应的，其实不然。事实上，同一个渲染引擎可以被多个浏览器采用。表2-2显示了三个主流渲染引擎和采用它们的浏览器和Web平台。

表2-2 浏览器和Web平台及其渲染引擎

Table2-2 Browser/Web platform and Rendeing engine

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Trident | Gecko | WebKit |
| 基于渲染引擎的浏览器或者Web平台 | IE | FireFox | Safari、Chromium/Chrome、Android浏览器、ChromeOS、WebOS等 |

前面我们把渲染引擎看做是一个黑盒子，黑盒子中包含什么以及有什么作用，我们还没有探究，接下来让我们一窥究竟。

根据渲染引擎所提供的渲染网页的功能，一般而言，它需要包含图2-3中所描述的众多功能模块。图中主要分为三层，最上层使用虚框线框住的是渲染引擎说提供的功能。

渲染引擎

HTML解释器

CSS解释器

布局

JavaScript引擎

网络

存储

2D/3D图形

音视频

图片解码器

操作系统支持

图2-3 渲染引擎模块及其依赖的模块

Fig 2-3 Rendering engine modules and its dependent modules

从图中大致可以，看出一个渲染引擎主要包括HTML解释器、CSS解释器、布局和JavaScript引擎等，其他还有绘图模块、网络等并没有在图中直接表示出来，下面依次来描述他们。

* HTML解释器：解释HTML文本的解释器，主要作用就是将HTML文本解释成DOM（Document Object Model，文档对象模型）树，DOM是一种文档的表示方法。
* CSS解释器：级联式样表的解释器，它的作用是为DOM中各个元素对象计算出式样信息，从而为计算最后网页的布局提供基础设施。
* 布局：在DOM创建之后，WebKit需要将其中的元素对象同样式信息结合起来，计算他们的大小位置等布局信息，形成一个能够表示这所有信息的内部表示模型。
* JavaScript引擎：使用JavaScript代码可以修改网页的内容，也能修改CSS的信息，JavaScript引擎能够解释JavaScript代码并通过DOM接口和CSSOM（CSS Object Model ，CSS对象模型）接口来修改网页内容和式样信息，从而改变渲染的结果。
* 绘图：使用图形库将布局计算后的各个网页的节点绘制成图像结果。

这些模块依赖很多其他的基础模块，这其中包括网络、存储、2D/3D图形、音频视频和图片解码等。实际上，渲染引擎中还应该包括如何使用这些依赖模块部分。例如，利用2D/3D图形库来实现高性能的网页绘制和网页的3D渲染，这个实现非常的复杂。最后，当然在最下层当然少不了操作系统的支持，例如线程支持、文件支持等。

在了解这些模块之后，下面先整体介绍一下这些模块是如何一起工作以完成网页渲染的。一般的，一个典型的渲染过程如图2-4所示，这是渲染引擎的核心过程，一切都是围绕着它来的。

下面从左至右逐次解释图2-4的这一过程，先后关系由图中的实线箭头表示。从左上角开始，首先是网页内容输入到HTML解释器，HTML解释器在解析它后构建成一棵DOM树，这期间如果遇到JavaScript代码则交给JavaScript引擎去处理；如果网页中包含CSS，这交给CSS解释器去解释。当DOM建立的时候，渲染引擎接收来自CSS解释器的样式信息，构建一个新的内部绘图模型。该模型由布局模块计算模型内部各个元素的位置和大小信息，最后由绘图模块完成从该模型到图像的绘制。

图2-4 渲染引擎的一般渲染过程及各阶段依赖的其他模块

DOM

网页内容

CSS解释器

HTML解释器

JavaScript引擎

内部表示

布局和绘图

图像

网络

存储

2D/3D图形

音频和视频

图片解码器

Fig 2-4 The process of Rendering and dependent modules

最后解释图2-4中虚线箭头的指向含义。它们表示在渲染过程中，每个阶段可能使用到的其他模块。在网页内容的下载中，需要使用到网络和存储，这点显而易见。但计算布局和绘图的时候，需要使用2D/3D的图形模块，同时因为要生成最后的可视化结果，这时需要开始解码音频、视频和图片，同其他内容一起绘制到最后的图像中。

在渲染完成之后，用户可能需要跟渲染的结果进行交互，或者网页自身有动画操作，一般而言，这需要持续的重复渲染过程。

以浏览器内核WebKit为例，根据数据的流向，可以将渲染分为三个阶段，第一个阶段是从网页的URL到构建完DOM树，第二个阶段是从DOM树到构建完成WebKit的绘图上下文，第三个阶段是从绘图上下文到生成最终的图像。为了藐视这个过程，下面会将WebKit中的一些细节展示给大家。图2-5描述的是从网页URL到构建完DOM树这个过程，数字表示的是基本顺序，当然也不是严格一致，因为整个过程可能重复并且可能交叉。

具体的过程如下。

1. 当用户在地址栏输入URL的时候，WebKit调用资源加载器加载该URL对应的网页。
2. 加载器依赖网络模块建立连接，发送请求并接收答复。
3. WebKit接收到各种网页或者资源的数据，其中某些资源可能是同步或异步获取的。

资源加载器

URL

网页内容、JS、CSS等

DOM树

网络模块

HTML解释器

JavaScript引擎

1

2

3

4

5

6

7

8

图2-5 从网页URL到DOM树

Fig 2-5 The process of generating DOM tree

1. 网页被交给HTML解释器转变成一系列的词语（Token）
2. 解释器根据词语构建节点（Node），形成DOM树。
3. 如果节点是JavaScript代码的话，调用JavaScript引擎解释并运行。
4. JavaScript代码可能会修改DOM树的结构。
5. 如果节点需要依赖其他资源，例如图片、CSS、视频等，调用资源加载器来加载它们，但是它们是异步的，不会阻碍当前DOM树的继续创建；如果是加载JavaScript资源URL（没有标记异步方式），则需要暂停当前DOM树的创建，直到JavaScript的资源加载并被JavaScript引擎执行后才继续DOM树的创建。

在上述的过程中，网页在加载和渲染过程中会发出“DOMContent”事件和DOM的“onload”事件，分别在DOM树构建完成后以及DOM树建完并且网页所依赖的资源都加载完之后发生，因为某些资源的加载并不会阻碍DOM树的构建，所以这两个事件多数时候不是同时发生的。

接下来就是WebKit利用CSS和DOM树构建RenderObject树直到绘图上下文，如图2-6所示的过程。

DOM树

CSS解释器

CSS

RenderObject树

RenderLayer树

绘图上下文

布局计算

1

2

3

图2-6 从CSS和DOM到绘图上下文

Fig 2-6 From CSS and DOM to Drawing context

这一阶段的具体过程如下。

1. CSS文件被CSS解释成内部表示结构。
2. CSS解释器工作完之后，在DOM树上附加解释后的样式信息，这就是RenderObject树。
3. RenderObject节点在创建的同时，WebKit会根据网页的层次结构创建RenderLayer树，同时构建一个虚拟的绘图上下文。其实，这中间还有复杂的内部过程，这里不再赘述。

RenderObject树的建立并不表示DOM树会被销毁，事实上，上述图中的四个内部表示结构一直存在，直到网页被销毁，因为它们对于网页的渲染起了非常大的作用。

最后就是根据绘图上下文来生成最终的图像，这一过程主要依赖2D和3D图形库，如图2-7所示。

绘图上下文

2D图形库

最终的图像

3D图形库

绘图具体实现类

3

1

2

图2-7 从绘图上下文到最终的图像

Fig 2-7 From Drawing final image

图中这一阶段对应的具体过程如下。

1. 绘图上下文是一个与平台无关的抽象类，它将每个绘图操作桥接到不同的具体实现类，也就是绘图具体实现类。
2. 绘图实现类也可能有简单的实现，也有可能复杂的实现。在Chromium中，它的实现相当复杂，需要Chromium的合成器来完成复杂的多进程和GPU加速机制，这在后面会涉及。
3. 绘图实现类将2D图形库或者3D图形库绘制的结果保存下来，交给浏览器来同浏览器界面一起显示。

这一过程实际上可能不像图中描述的那么简单，现代浏览器为了绘图上的高效性和安全性，可能会在这一过程中引入复杂的机制。而且，绘图也从之前单纯的软件渲染，到现在的GPU硬件渲染、混合渲染模型等方式，这些同样会以单独的章节加以剖析。

上边介绍的是一个完整的渲染过程。现代网页很多是动态网页，这意味着在渲染完成之后，由于网页的动画或者用户的交互，浏览器其实一直在不停地重复执行渲染过程。

2.1.4 浏览器内核架构及Chromium浏览器总体架构

前面曾介绍过目前主流的渲染引擎包括Trident、Gecko和WebKit，其中WebKit目前作为苹果公司及谷歌等公司浏览器的主要内核，从2012年11月开始，市场占有超过40%，成为拥有最大市场份额的排版引擎，超越了IE所使用的Trident内核（数据来自浏览器市场份额调查），具有快速、稳定、安全的特点。

说到WebKit，还得从KHTML（HTML网页排版引擎之一，由KDE所开发。）说起。话说在1998年，苹果公司参与了由KDE开源社区发起的网页渲染引擎KHTML的开源项目开发，它同KDE开源社区一起共同提交代码帮助推动KHTML的发展，一开始一切都很美好。但是，很快苹果公司发现，KHTML的开发者不喜欢接受很多苹果工程师提交的代码，因为他们提交的代码包很庞大并且这些代码没有合适的文档或者注释来描述他们。两者的分歧越来越大，最终在2001年，苹果宣布从KHTML的源代码树种复制代码出来，成立了一个新的项目，这就是大名鼎鼎的WebKit。不过当时它是一个封闭的项目。2005年，苹果决定将WebKit项目开源，这一举动极大地推动了该项目的发展。从此，WebKit走上了高速发展的道路，在短短的几年时间里，被其他很多公司采用作为浏览器的内核。

当我们谈到“WebKit”的时候，其实可以表示两种含义，这里姑且成为广义WebKit和狭义WebKit。广义的WebKit指的就是WebKit项目。为了解释狭义的WebKit，让我们在更高层次上俯视一下这个开源项目。图2-8显示的是该项目的大模块。图中“WebKit嵌入式接口”就是指的狭义WebKit，它指的是在WebCore（包含前面提到的HTML解释器、CSS解释器和布局等模块）和JavaScript引擎之上的一层绑定和嵌入式编程接口，可以被各种浏览器调用。以后若无特殊说明，所引用的WebKit均是指广义的概念。

WebKit项目

WebKit嵌入式接口

WebCore

JavaScript引擎

调用系统或依赖库接口的桥接层

图2-8 WebKit项目的大模块

Fig 2-8 Brief Modules for WebKit project

WebKit的一个显著特征就是它支持不同的浏览器，因为不同浏览器的需求不同，所以在WebKit中，一些代码可以共享，但是另外一部分是不同的，这些不同的部分称为WebKit的移植（Ports）。前边我们介绍过一张简单的WebKit结构图，图中只有2~3个模块，那是故意隐去了其中的细节，下图（图2-9）是更为详尽的的WebKit架构图。

WebKit

WebCore

WebKit嵌入式接口

WebKit2嵌入式接口

WebKit绑定

WebKit2绑定

WebKit Ports

网络栈

音视频

文字

硬件加速

图片解码

. . .

JavaScriptCore

CSS

SVG

布局

渲染树

HTML

DOM

Inspector

. . .

2D图形库

t

3D图形库

t

网络库

t

存储

t

音频库

t

视频库库

t

. . .

t

操作系统

图2-9 WebKit架构

Fig 2-9 The Architecture of WebKit

图中的WebKit架构，虚线框表示该部分模块在不同浏览器使用的WebKit内核中实现是不一样的，也就是它们不是普遍共享的。用实线框标记的模块表示它们基本上是共享的。之所以没有说的那么绝对，是因为它们中的一些特征性可能并不是共享的，而且可以通过不同的编译配置改变它们的行为。这里面有很多的不同，所以，很多使用WebKit的浏览器可能会表现出不同的行为，就不令人惊奇了。

下面，我们开始依次从下向上分析。

图中最下面是“操作系统”，WebKit可以在不同的操作系统上工作。不同浏览器可能会依赖不同的操作系统，同一个浏览器使用的WebKit也可能依赖不同的操作系统，例如，Chromium浏览器支持Windows、MacOS、Linux、Android等系统。

在“操作系统”之上的就是WebKit赖以工作的第三方库，这些库是WebKit运行的基础。通常来讲，它们包括图形库、网络库、视频库等，加载和渲染网页需要它们不足为奇。WebKit是这些库的使用者，如何高效地使用它们是WebKit和各种浏览器厂商的一个重大课题，主要是如何设计良好的架构来利用它们以获得高性能。现代浏览器的功能越来越强大，性能要求也越来越高，新的技术不断被引入浏览器和Web平台，这也大大增加了WebKit和浏览器的复杂性。

在它们二者之上的就是WebKit项目了，图中已经把它细分为两层，每层包含很多个模块，由于图的大小限制，略去了其中一些次要模块。

WebCore部分包含了目前被各个浏览器所使用的WebKit共享部分，这些都是加载和渲染的网页的基础部分，他们必不可少，具体包括HTML解释器、CSS解释器、SVG、DOM、渲染树（RenderObject树、RenderLayer树等），以及Inspector（Web Inspector、调试网页）。当然，这些共享部分有些是基础框架，其背后的支持也需要各个平台的不同实现。举个例子来说，“剪贴板”这个功能其实跟平台密切相关，在WebKit的gtk版本中，它就依赖于gtk的一个具体实现。WebCore这些部分主要被前面介绍过的加载和渲染过程的第一、二阶段说使用。

JavaScriptCore引擎是WebKit中的默认JavaScript引擎，也就是说一些WebKit的移植使用该引擎。刚开始，她的性能不是很好，但是随着越来越多的优化被加入，现在的性能已变得非常不错。之所以说它还是默认的，是因为它不是唯一并且是可以替换的。事实上，WebKit中对JavaScript引擎的调用是独立于引擎的。在Google的Chromium开源项目中，它被替换为V8引擎。

WebKit Ports指的是WebKit中的非共享部分，对于不同浏览器使用的WebKit来说，移植中的这些模块由于平台差异、依赖的第三方库和需求不同等方面的原因，往往按照自己的方式来设计和实现，这就产生了移植部分，这是导致众多WebKit版本的行为并非一致的重要原因。这其中包括硬件加速架构、网络栈、视频解码、图片解码等。

在WebCore和WebKit Ports之上的层主要是提供嵌入式编程接口，这些嵌入式接口是提供给浏览器调用的（当然也可以有其他使用者）。图中有左右两个部分分别是狭义WebKit的接口和WebKit2（WebKit2 is a new API layer for WebKit to support a split process model, where the web content lives in a separate process from the application UI[24]）的接口。因为接口与具体的移植有关，所以有一个与浏览器相关的绑定层。绑定层上面就是WebKit项目对外暴露的接口层。实际上接口层的定义也是与移植密切相关的，而不是WebKit由是统一接口。

WebKit还有一个部分没有展示出来，那就是测试用例，包括布局测试用例和性能测试用例，这两类测试包含了大量的测试用例和期望结果。虽然不同的的WebKit移植对应的测试用例不一样，总体上来讲WebKit移植还是共享了大量的用例。为保证WebKit的代码质量，这些用例被用来验证渲染结果的正确性。

以上，便是对WebKit架构的介绍。

前面我们提到WebKit是从KHTML分裂出来的。历史总是惊人的相似，当年发生在KHTML项目上的事情也同样发生在WebKit项目上。2013年4月，Google宣布了从WebKit复制出来并独立运作的Blink项目，其中原因也是一言难尽，主要还是Google和苹果公司有了一些分歧。据一些第三方的 WebKit 开发者透露，苹果和 Google 的开发者在交流时没有一般开源开发者的那种相互支持，反而更像两头相互打量的狮子，气氛比较紧张。而苹果团队则称Google不愿意将多进程架构的支持整合到 WebKit 中，这些代码一直在 Chromium 自己的目录中。最初Blink和WebKit并没有特别大的不同，因为刚刚从WebKit复制过来。

在二者“分手”后，WebKit将于Google Chromium浏览器相关的代码移除，同时，Blink将除Chromium浏览器需要之外的其他移植的代码都删除了。二者的差别在以后会越来越大，因为Google希望未来在Blink中加入很多新的技术，下面是Chromium网站上列出的。

其一，实现跨进程的iframe。iframe允许网页中嵌入其他页面，这存在潜在的安全问题。一个新的想法就是为iframe创建一个单独的沙箱进程。

其二，重新整理和修改WebKit关于网络方面的架构和接口。长期以来，WebKit中的一些实现是以MacOS平台为基础的，所以存在某些方面的限制，Blink将会在这方面做比较大的调整。

其三，一个更为胆大更为激进的想法就是将DOM树引入JavaScript引擎中。目前DOM和JavaScript引擎是分开的，这意味着JavaScript引擎访问DOM树需要较高的代价。这是一个大胆而又具有革命性的尝试，会带来性能的极大提升。为什么呢？原因是JavaScript引擎访问DOM树需要额外的负担，这影响了访问速度。

其四，就是针对各种技术的性能优化，包括但不限于图形、JavaScript引擎、内存的使用，编译二进制文件的大小，等。

之后还有很多其他技术会被逐渐引入，我们持续关注WebKit和Blink的发展。

Chromium也是基于WebKit（Blink）的，而且在WebKit的移植部分中，Chromium也做了很多有趣的事情，所以通过Chromium可以了解如何基于WebKit构建浏览器。另一方面，Chromium也是很多技术的创新者，它将很多先进的理念引入到浏览器领域。Chromium的代码非常复杂，模块非常多，结构也不是特别清晰，非常容易让人迷惑。为了方便理解，我们从架构和米快、多进程模型和多线程模型角度一一剖析。

首先要熟悉的是Chromium的架构及其包含的模块。

Chromium浏览器

Content Shell

Android WebView

Content接口

Content模块

Blink(WebKit)

GPU/Command Buffer

V8

沙箱模型

CC(Chromium合成器)

IPC、

UI、

PPAPI、

. . .

图2-10 Chromium模块结构图

Fig 2-10 Modules of Chromium

图2-10描述了Chromium的架构和主要的模块。从图中可以看到，Blink只是其中的一块，和它并列的还有众多的Chromium模块，包括GPU/CommandBuffer（硬件加速架构）、V8 JavaScript引擎、沙箱模型、CC（Chromium Compositor）、IPC、UI等（还有很多并没有在图中显示出来）。

在上面这些模块之上的就是著名的“Content模块”和“Content API（接口）”，它们是Chromium对渲染网页功能的抽象。“Content”的本意是指网页的内容，这里是指用来渲染网页的模块。这里或许有个疑问，WebKit不就是渲染网页内容的吗？是的，没有Content模块，浏览器开发者也可以在WebKit的Chromium移植上渲染网页内容，但是没有办法获得沙箱模型、跨进程的GPU硬件加速机制、众多的HTML5功能，因为这些功能很多是在Content层实现的。

“Content模块”和“Content API”将下面的渲染机制、安全机制、和插件机制等隐藏起来，提供一个接口层。该接口目前被上层模块或者其他项目使用，内部调用者包括Chromium浏览器、Content Shell等，外部包括CEF（Chromium Embedded Framework）、Opera浏览器等。

“Chromium浏览器”和“Content Shell”是构建在Content API之上的两个“浏览器”，Chromium具有浏览器完整的功能，也就是我们编译出来能看到的浏览器式样。而“Content Shell”是使用Content API来包装的一层简单的“壳”，但是它也是一个简单的“浏览器”，用户可以使用Content模块来渲染和显示网页内容。Content Shell的作用很明显，其一可以用来检测Content模块很多功能的正确性，例如渲染、硬件加速等；其二是一个参考，可以被很多外部的项目参考来开发基于“Content API”的浏览器或者各种类型项目。

前面多次提到Chromium的多进程模块架构，下面谈谈它的好处。相信你一定用这样的经历：在使用浏览器打开很多个页面的时候，不幸的是其中某个页面不响应或者崩溃了，随之而来的可能是更不幸的事——其他所有页面也都不响应或者崩溃了。最让人不能忍受的是，其中一些页面可能还有未保存或者未发送的信息。

但是，现在好了，很多现代浏览器支持多进程模型，这个模型可以很好地避免上面的问题，虽然它很复杂而且也有自身的问题，例如更多的资源消耗，但是它的优势也是非常明显的。在WebKit内核之上，Chromium率先在WebKit之外引入了多进程模型。

多进程模型现在不可避免的带来一些问题和复杂性的同时，也带来了更多的优势，而且这些优势非常的重要。该模型至少带来三个好处：其一是避免因单个网页的不响应或者崩溃而影响整个浏览器的稳定性，特别是对用户界面的影响；其二是，当第三方插件崩溃时不会影响页面或者浏览器的稳定性，这时因为第三方插件也被使用单独的进程来运行；其三是，它方便了安全模型的实施，也就是说沙箱模型是基于多进程架构的。其实，这很大程度上也是WebKit2产生的原因。那么，这是怎么做到的呢？

图2-11给出了最常用的Chromium浏览器多进程模型，Chromium架构的设计是非常灵活的，使用者可以通过简单的设置来随意改变它的进程模型方式。图中方框代表进程，连接线代表IPC进程间通信。这些连接线其实是很讲究的，它表进程存在进程间通信，如果没有，表明两种不同类型的进程之间没有通信。例如NPAPI插件和GPU之间没有通信，这是因为NPAPI是一种古老的插件标准，它没有定义使用GPU进行加速的接口。

Browser进程

NPAPI Plugin

NPAPI Plugin

. . .

Render

Render

. . .

Pepper Plugin

Pepper Plugin

. . .

GPU

图2-11 Chromium多进程模型

Fig 2-11 Mutil-process of Chromium

从图2-11可以看到Chromium浏览器主要包括以下进程类型。

* Browser进程：浏览器的主进程，负责浏览器界面的显示，各个页面的管理，是所有其他类型进程的祖先，负责他们的创建和销毁等工作，它有且仅有一个。
* Render进程：网页的渲染进程，负责页面的渲染工作，Blink/WebKit的渲染工作主要在这个进程中完成，可能有多个，但是Render进程的数量是否同用户打开的网页数量一致呢？答案是不一定。Chromium设计了灵活的机制，允许用户配置。此外，在沙箱模型启动的情况下，该进程可能会发生一些改变。
* NPAPI插件进程：该进程是为NPAPI类型的插件而创建的。其创建的基本原则是每种类型的插件只会被创建一次，而且仅当使用时才被创建。当有多个网页需要使用同一种类型的插件的时候，例如很多网页需要使用Flash插件，Flash插件的进程会为每个使用者创建一个实例，所以插件进程是被共享的。
* GPU进程：最多只有一个，当且仅当GPU硬件加速打开的时候才会被创建，主要用于3D图形加速调用的实现。
* Pepper插件进程：同NPAPI插件进程，不同的是为Pepper插件而创建的进程。
* 其他类型的进程：图中还有一些其他类型的进程没有描述出来，例如Linux下的“Zygote”进程，Render进程其实都是由它创建而来。另外一个就是名为“Sandbox”的准备进程。

通过上面的讨论，对于桌面系统（Windows、Linux、MacOS）中的Chromium浏览器，它们的进程模型总结后包括以下一些特征。

1. Browser进程和页面的渲染是分开的，这保证了页面的渲染导致的崩溃不会导致浏览器主界面的崩溃。
2. 每个网页是独立进程，这保证了页面之间相互不影响。
3. 插件进程也是独立的进程，插件本身的问题不会影响浏览器主界面和网页。
4. GPU硬件加速进程也是独立。

经过这些分析我们可以看到，多进程模型多使用比较多的资源，但换来的好处是浏览器更稳定了。

上面说到Chromium允许用户配置Render进程被创建的方式，下面简单介绍下模型的类型。

* Process-per-site-instance：该类型的含义是为每一个页面都创建一个独立的Render进程，不管这些页面是否来自于同一域。例如，用户访问了gmail个人账户主页，然后从主页分别打开多封邮件，每封邮件的页面都是该域的一个实例，因而它们都有各自不同的渲染进程。如果新打开gmail个人账户的主页，那么就是另一个实例，会重新创建进程来渲染它。这带来的好处是每个页面互不影响，坏处自然是资源的巨大浪费。
* Process-per-site：该类型的含义是属于同一个域烦人页面共享同一个进程，而不同属一个域的页面则分属不同的进程。好处是相对于相同的域，进程可以共享，内存消耗较小，坏处是可能会有特别大的Render进程。
* Process-per-tab：该类型的含义是，Chromium为每个标签页都创建一个独立的进程，而不管它们是否是不同域不同实例，这也是Chromium的默认行为，虽然会浪费资源。
* Single process：该类型的含义是，Chromium不为页面创建任何独立的进程，所有渲染工作都放在Browser进程中进行，它们是Browser进程中的多个线程。但是这个类型在桌面系统上只是实验性质并且不是很稳定，因而一般不推荐使用，只有在比较单进程和多进程时相对游泳，可以在命令行加入参数“--single-process”来尝试它。

因为Browser进程和Render进程都是在WebKit的接口之外由Chromium引入的，所以这里有必要介绍一下它们是如何利用WebKit渲染网页的，这其中的代码层次由图2-12给出。

浏览器的用户界面

(src/chrome)

Web Contents页面内容

(src/content/browser/web\_contents)

RendererHost

(src/content/renderer\_host)

Renderer

(src/content/renderer)

WebKit黏附层

(src/webkit/glue)

WebKit接口层

(WebKit/Source/WebKit)

Browser

进程

Renderer

进程

图2-12 从WebKit接口层到用户界面的路径

Fig 2-12 The path from WebKit interface layer to user UI

最下面的就是WebKit接口层，一般基于WebKit接口层的浏览器直接在上面构建，而没有引入复杂的多进程架构。

然后，在WebKit接口层上面就是Chromium基于WebKit的接口而引入的黏附层，它的出现主要是因为Chromium中的一些类型和WebKit内部不一致，所以需要一个简单的桥接层。

再上面的就是Renderer，它主要处理进程间通信，接受来自Browser进程的请求，并调用相应的WebKit接口层。同时，将WebKit的处理结果发送回去。上面这些介绍的层都是在Renderer进程中工作的。

下面就进入了Browser进程，与Renderer相对应的就是RendererHost，其目的也是处理同Render进程之间的通信。不过RendererHost是给Render进程发送请求并接收来自Render进程结果。

Web Contents表示的就是网页的内容，因为网页可能有多个需要绘制的内容，例如弹出的对话框内容，所以这里是“Contents”。它同时包括显示网页内容的一个子窗口，这个子窗口最后被嵌入到浏览器的用户界面，作为它的一个标签页。

通过上面的介绍，这里的关系已经基本理顺。那么，进程内部又是什么情况呢？如何在支持进程间通信的同时又能支持高效渲染或者用户事件响应？答案是多线程。

每个进程内部，都有很多的线程，那么Chromium为什么要这样做呢？对于Browser进程，Chromium的官方说法告诉我们，多线程的主要目的就是为了保持用户界面的高响应度，保证UI线程（Browser进程中的主线程）不会被任何其他费时的操作阻碍从而影响了对用户操作的相应。这些费时的其他操作很多，例如本地文件读写、Socket读写、数据库操作等。既然文件读写会阻碍其他操作，那好，把它们放在单独的线程里自己忙或者等待去吧。而在Render进程中，Chromium则不让其他操作阻止渲染线程的快速执行。更甚者，为了利用多核的优势，Chromium将渲染过程管线化，这样可以让渲染的不同阶段在不同的线程执行。

图2-13展示了主要进程中的重要线程信息及它们之间是如何工作的。事实上，进程中的线程远远不止这些，这里只是列举了其中两个重要的线程。

Browser进程

UI线程

IO线程

Render进程

渲染线程

IO线程

GPU进程

IO线程

GL线程

图2-13 Chromium的多线程模型

Fig 2-13 The multi-thread model of Chromium

那么，网页的加载和渲染过程在图中模型下的基本工作方式如以下步骤。

1. Browser进程收到用户的请求，首先由UI线程处理，而且将相应的任务转给IO线程，它随即将该任务传递给Render进程。
2. Render进程的IO线程经过简单的解释后交给渲染线程。渲染线程接受请求，加载网页并渲染网页，这其中可能需要Browser进程获取资源和需要GPU进程来帮助渲染。最后Render进程将结果由IO线程传递给Browser进程。
3. 最后，Browser进程接收到结果并将结果绘制出来。

Chromium中的线程间如何通信和同步呢？这是多线程领域中一个非常难缠的问题，因为这会造成死锁或者资源的竞争冲突等问题。Chromium精心设计了一套机制来处理它们，那就是绝大多数的场景使用事件和一种Chromium新创建的任务传递机制，仅在非用不可的情况下才使用锁或者线程安全对象。

以上，是我们对浏览器基本技术的简单介绍。当然，浏览器所涉及的技术不仅仅只有我们介绍的这些，它是一个庞大而复杂的项目。考虑到篇幅所限，我们只针对本论文可能涉及的部分进行了简单的描述，以便于后文的展开。

2.3 Gstreamer基础

2.3.1 Gstreamer是什么

Gstreamer是一个开源的多媒体框架库。利用它，可以构建一系列的媒体处理模块，包括从简单的Ogg/Vorbis回放、到音视频流媒体以及复杂的音频（混音）和视频（非线性编辑）处理。应用程序可以透明地利用解码和过滤技术，开发者可以使用简洁通用的接口来编写一个简单的插件来添加新的解码器或滤镜[25]。它的基本设计思想来自于俄勒冈（Oregon）研究生学院有关视频管道的创意，并且借鉴了微软DirectShow的设计思想[26]。

2.3.2 Gstreamer特点

Gstreamer框架是基于插件的，有些插件中提供了各种各样的多媒体数字信号编解码器，也有些提供了其他的功能。所有的插件都能够被链接到任意的已经定义了的数据流管道中。它的核心库函数是一个处理插件、数据流和媒体操作的框架。另外，核心库还提供了一个API，这个API是开放给开发者使用的，当开发者需要使用其他的插件来编写他所需要的应用程序的时候可以使用它。

Gstreamer的程序开发框架使得编写任意类型的流媒体应用程序成了可能。在编写处理音频、视频或者两者皆有的应用程序时，Gstreamer可以让工作变得简单。它并不受限于音频和视频处理，理论上能够处理任意类型的数据流。管道设计的方法对于实际应用的滤波器几乎没有负荷，它甚至可以用来设计出对延时有很高要求的高端音频应用程序。

2.3.3 基本概念

在Gstreamer中有一些基本的概念和术语，了解和理解这些概念和术语是使用Gstreamer的前提和基础，后续章节会进场提到这些概念和术语。

最重要的一个概念就是元件（elements）。要想使数据流顺利的传输，需要创建一系列的元件，并将这些元件按照一定规则连接起来（当然连接元件涉及到例外一个概念，后边会介绍。），然后数据流就可以在这些被连接起来的元件间传输。想象一下一段段的自来水管，为了把洁净的水输送到每家每户，工作人员从供水中心铺设管道，利用大小不一各种各样的接口、水管和其他元件一段衔接一段接入到每个家庭。元件的类型有多种，一个元件它的类型可能是sources、filters、muxers、demux­ers、codecs或者sinks。每个元件都有一个特殊的函数接口，有些元件的函数接口是用于能够读取文件的数据、解码文件数据的，而有些元件的函数接口只是输出相应的数据到具体的设备上（例如：声卡设备、显卡设备，等）。我们将若干个元件连接在一起，从而创建一个管道来完成一个特殊的任务，例如音频的播放和录制。Gstreamer默认已经安装了很多有用的元件，通过使用这些元件你能够构建一个具有多种功能的应用程序。在某些情况下，开发人员可以根据项目的需要编写一些特别的新的元件。一般来说，元件像是一个黑盒，数据从黑盒的一端流入，在黑盒内部进行一些加工处理，然后从另外一端流出被处理过的数据。例如：对于一个mux­er元件，流入的是视频文件、音频文件、可能还会有字幕文件，流出的是某一格式的视频文件。如，可将1.avi、1.mp3、1.srt用muxer合并为mkv格式的视频文件。

插件（plugins）是一块可以加载的代码。通常被称为共享对象文件或动态链接库。一个插件中可以包含一个或多个元件，因此可以把多个元件封装进一个插件中，使之支持新的功能。Gstreamer充斥着插件的概念，即使你只用到一些标准的包。核心库只有少量的基本函数，其它所有的功能都由插件来实现。一个XML文件被用来保存所有注册的插件的详细信息。这样，使用Gstreamer的程序可以只在需要时加载插件，而不必实现全部加载。

衬垫（pads）是Gstreamer的另外一个基本概念。在Gstreamer中，衬垫是用来在元件间协商连接和数据流的。衬垫可以看做元件见相互连接的“接口”，数据流通过这些接口流入和流出元件。衬垫具有特殊的数据处理能力：衬垫可以限制通过它的数据类型。只有当两个衬垫允许通过的数据类型兼容时才可以将它们连接起来。打个比方，衬垫类似于物理设备上的a plug or jack。想想一个包含功放、DVD播放器和一个视频投影仪的家庭影院系统。将投影仪和DVD播放器相连是允许的，因为这两个设备具有兼容的video jack。而将投影仪和功放连接起来也许就行不通了，因为他们之间的jack不同。大部分情况下，所有在Gstreamer中流经的数据都遵循一个原则，数据从元件的一个或多个源衬垫流出，从一个或多个sink衬垫流入。源和sink元件分别只有源和sink衬垫。

以上是基本概念和术语的介绍，下面我们介绍几种常见的元件：

1. 源元件（source elements）

源元件是管道数据的产生者，比如从硬盘或者声卡等设备中将数据读取出来。如图2-14所示：源元件有且只有一个源衬垫（source），它只产生数据，并不接收数据。也就是说，它是数据的源头，不能对数据做任何处理。

source element

source

图2-14 源元件示意图

Fig 2-14 source element

1. 过滤器（filters）与类过滤元件（Filter-like elements）

过滤器以及类过滤元件都同时拥有输入和输出衬垫，它们对从输入衬垫接收到的数据进行处理操作，然后将处理后的数据提供给输出衬垫。音量元件、视频转换器、Ogg分流者或者Vorbis解码器都是这种类型的元件。类过滤元件可以拥有任意个的元衬垫或者接收衬垫。像一个视频分流器可能有一个接收衬垫以及多个（1-N）源衬垫，每个接收衬垫对应一种元数据流（elementary stream）。相反地，解码器只有一个源衬垫及一个接收衬垫。图2-15为形象化的过滤元件，这个特殊的元件同时拥有源端和接收端，接收输入数据的接收衬垫在元件的左端，源衬垫在右端。图2-16为形象化的拥有多个输出的过滤元件，它有多个输出衬垫（source pad）。Ogg分流器是个很好的实例，因为Ogg流包含音频元数据流。当一个新的衬垫被创建时，分流器通常会产生一个信号，开发者可以在信号处理事件中处理新的元数据流。

filter

src

sink

图2-15 形象化的过滤元件

Fig 2-15 Figurative filter element

video

demuxer

sink

audio

图2-16 有多个输出的过滤元件

Fig 2-16 filter element with multiple outputs

1. 接收元件（sink elements）

接收元件处在媒体管道的末端，如图2-17所示为接收元件的示意图，它只有一个接收衬垫（sink pad），因而它只接收数据，不产生数据。例如常见的写磁盘、利用声卡播放声音，以及视频输出都是由接收元件实现的。

sink element

sink

图2-17 接收元件

Fig 2-17 sink element

1. 箱柜（bins）和管道（pipelines）

箱柜是一个可以装载元件（element）的容器。管道是箱柜的一个特殊子类型，管道可以操作包含在它自身内部的所有元件。因为箱柜本身又是元件的子集，所以能够像操作普通元件一样地操作箱柜，通过这种方法可以降低应用程序的复杂度。开发者可以改变一个箱柜的状态来改变箱柜内部所有元件的状态。箱柜可以发送总线消息（bus messages）给它的子集元件。管道是高级的箱柜，当设定管道的暂停或者播放状态的时候，数据流将开始流动，并且媒体数据处理也开始进行。一旦开始，管道将在一个单独的线程运行，直到被停止或者数据流播放完毕。箱柜的示意图如图2-18所示。

bin

element3

element2

element1

sink

src

src

sink

图2-18 箱柜示意图

Fig 2-18 bin

1. 元件状态

一个元件在被创建后，它不会执行任何操作。如果想要元件执行某些动作，就需要需要改变元件的状态，使得它能够做某些事情。在Gstreamer中，元件有四种状态，每种状态都有其特定的意义。

* GST\_STATE\_NULL：默认状态。所有新创建的元件的初始默认状态，该状态将回收所有被该元件占用的资源。
* GST\_STATE\_READY：准备状态。这种状态下，元件会得到所有所需的全局资源，这些全局资源将被通过该元件的数据流所使用。例如打开设备、分配缓存。但这种状态下，数据流仍未开始被处理，所以数据流的位置信息应该自动置0。如果数据流先前被打开过，它应该被关闭，并且其位置信息、特性信息应该被重置为初始状态。
* GST\_STATE\_PAUSED：暂停状态。在这种状态下，元件已经对流开始了处理，但此刻暂停了处理。因此，该状态下元件可以修改流的位置信息，读取或者处理数据流，以及一旦状态变为PLAYING，流可以重放数据流。这种情况下，时钟是禁止运行的。总之，PAUSED状态除了不能运行时钟外，其它与PLAYING状态一模一样。处于PAUSED状态的元件会很快变换到PLAYING状态。举例来说，视频或音频输出元件会等待数据的到来，并将它们压入队列。一旦状态改变，元件就会处理收到的数据。同样，视频接收元件能够播放数据的第一帧（因为这并不会影响时钟）。自动加载器（Autopluggers）可以对已经加载进管道的插件进行这种状态转换。其它更多的像codecs或者filters这种元件不需要在这个状态上做任何事情。
* GST\_STATE\_PLAYING：PLAYING状态除了当前运行时钟外，其它与PAUSED状态一模一样。你可以通过函数gst\_element\_set\_state()来改变一个元件的状态。你如果显式地改变一个元件的状态，Gstreamer可能会使它在内部经过一些中间状态。例如，将一个元件从NULL状态设置为PLAYING状态，Gstreamer在其内部会使得元件经历过READY以及PAUSED状态。当处于GST\_STATE\_PLAYING状态，管道会自动处理数据。它们不需要任何形式的迭代，Gstreamer会开启一个新的线程来处理数据。Gstreamer同样可以使用GstBus在管道线程和应用程序线程间交互信息。

2.3.4 总线（Bus）

总线是一个简单的系统，它拥有一套自己的线程机制，采用这套机制可以把一个管道线程的message分发到一个应用程序中。当使用Gstreamer的时候，由于总线机制的存在，应用程序不需要对线程过分关心或者线程识别，尽管Gstreamer可能已经加载了多个线程。

当一个管道创建后，默认是包含有一个总线的，因此应用程序不需要再创建总线，只需要在总线上设置一个消息处理器。当主循环运行的时候，总线会轮询这个消息处理器看是否有新的消息，如果有消息则消息被采集到，总线会调用相应的回调函数完成处理。

使用总线的方法有两种。第一种是运行GLib/Gtk+主循环（也可以自己运行默认的GLib循环），然后使用侦听器对总线进行侦听。如果使用这种方法，Glib的主循环将轮询总线上是否存在新的消息，当存在新的消息的时候，总线会马上通知你。在这种情况下，会用到gst\_bus\_add\_watch()/gst\_bus\_add\_signal\_watch()两个函数。当使用总线时，设置消息处理器到管道的总线上可以使用gst\_bus\_add\_watch()来创建一个消息处理器来侦听管道。每当管道发出一个消息到总线，这个消息处理器就会被触发，消息处理器则开始检测消息信号类型从而决定那些时间将被处理。第二种是自己侦听总线消息，使用gst\_bus\_peek()/gst\_bus\_poll()就可以实现。

Gstreamer有几种由总线传递的预定义消息类型，这些消息都是可扩展的，插件可以定义自己的一些信息。所有的消息都有一个消息源、类型和时间戳。这个消息源能被用来判断由哪个element发出消息。例如在众多的消息中，应用程序只对上层的管道发出的消息感兴趣（例如状态发生了改变）。下面是一些消息的简介。

* 错误、警告和消息提示：它们被各个元件用来在必要的时候通知用户现在管道的状态。错误信息表明有致命的错误并且终止数据传送，错误应该被修复，这样才能继续管道的工作。警告并不是致命的，但是暗示有问题存在。消息提示用来告知非错误的信息。这些消息含有一个带有主要的错误类型和消息的GError，和一个任选的调试字符串。这两项都可以用gst\_message\_parse\_error()/gst\_message\_parse\_warning()以及gst\_message\_parse\_info()三个函数来提取其信息。当使用完毕后，错误和修正字符串都会被释放出来。
* 数据流结束（End of stream）提示：当数据流结束的时候，改消息被发出。管道的状态不会改变，但是之后的媒体操作将会停止。应用程序接收到这一消息后，可以根据具体的情况作出动作，比如跳到下一首歌播放。在数据流结束提示的消息出现之后，任然是可以通过向后搜索来回到以前数据流前面的位置。之后的播放工作将会自动的继续执行。此消息不携带特殊参数。
* 标签（Tags）：当元数据在数据流中被找到的时候，此消息被发送。一个管道可以发出多个Tag（如元数据的描述里有艺术家、歌曲名等）。应用程序应该将元数据存储在缓存里。函数gst\_message\_parse\_tag()被用来解析tag的列表，当该列表不再使用的时候，函数gst\_tag\_list\_free()释放其相应的tag。
* 状态转换（State Changes）：当状态成功的转换时，此消息被发送。函数gst\_message\_parse\_state\_changed()可以用来解析转换中的新旧状态。
* 缓冲（Buffering） ：当对网络数据进行缓冲的时候，此消息被发送。可以通过gst\_message\_get\_structure()的返回值解析“buffer percent”，从而得到缓冲进度的百分比。
* 元件消息（Element messages）：它是一组特殊的消息，用以标识一个特定元件。这样一组特殊的消息通常表述了一些额外的信息。元件的信息应该被详细的描述，因为这样一些元件信息将被作为消息而发送给其他元件。例如：“qtdemux”QuickTime整流器（demuxer）应该把“redirect”信息保存于该元件信息中，以便在某些特殊情况下将“redirect”元件信息发送出去。
* Application-specific消息：我们可以将取得的消息结构解析出来，从而得到有关Application-specific消息的任何信息，通常这些信息是能够被安全地忽略。应用程序消息主要用于内部，以备从一些线程排列信息到主线程应用的需求。

2.3.5 Gstreamer使用方法

下面，我们以一个具体的实例来看看如何利用Gstreamer框架的组件，实现一个简单的MP3播放器。数据源元件负责从磁盘上读取数据，过滤器元件负责对数据进行解码，而接收器元件负责将解码后的数据写入声卡。

要想在程序中应用Gstreamer提供的各种功能，首先必须在主函数中调用gst\_init()来完成初始化工作，以便用户从命令行输入的参数传递给Gstreamer函数库。一个典型的Gstreamer应用程序的初始化如下所示：

#include <gst/gst.h>

int main(int argc, char \*argv[])

{

gst\_init(&argc, &argv);

}

接下去需要创建三个元件并连接成管道，由于所有Gstreamer都具有相同的基类GstElement，所以可以采用如下方式进行定义：

GstElement \*pipeline, \*filesrc, \*decoder, \*audiosink;

管道在Gstreamer框架中是用来容纳和管理元件的，下面的代码将创建一条名为pipeline的新管道：

pipeline = gst\_pipeline\_new(“pipeline”);

数据源元件负责从磁盘文件中读取数据，它具有名为“location”的属性，用来指明文件在磁盘上的位置。使用标准的GObject属性机制可以为元件设置相应的属性：

filesrc = gst\_element\_factory\_make(“filesrc”, “disk\_source”);

g\_object\_set(G\_OBJECT(filesrc), “location”, argv[1], NULL);

过滤器元件负责将解码后的数据利用声卡播放出来：

audiosink = gst\_element\_factory\_make(“audiosink”, “play\_audio”);

已经创建好的三个元件需要全部添加到管道中，并按顺序连接起来：

gst\_bin\_add\_many(GST\_BIN(pipeline), filesrc, decoder, audiosink, NULL);

gst\_element\_link\_many(filesrc, decoder, audiosink, NULL);

所有准备工作都做好之后，就可以通过将管道的状态切换到PLAYING状态，来启动整个管道的数据处理流程：

gst\_element\_set\_state(pipeline, GST\_STATE\_PLAYING);

 这里可以通过gst\_pipeline\_get\_bus(GST\_PIPELINE(pipeline))获取到总线bus，然后加入一个消息处理函数bus\_call来监视产生的消息：

gst\_bus\_add\_watch(bus, bus\_call, loop)

bus\_call可以定义如下：

static gboolean bus\_call(GstBus \*bus, GstMessage \*msg, gpointer data)

{

// do something

}

 当播放结束，终止管道，并解除引用释放资源：

gst\_element\_set\_state(pipeline, GST\_STATE\_NULL);

gst\_object\_unref(GST\_OBJECT(pipeline));

以上是一个简单的使用Gstreamer创建播放器的实例，便于我们理解Gstreamer的使用方法和流程。

2.3.6 Gstreamer音视频同步机制

媒体内容在播放时，最不好控制的就是音视频的同步问题。从技术上说，解决音视频同步问题的首选方案就是时间戳：首先选择一个参考时钟（要求参考时钟上的时间是线性递增的）；生成数据流时依据参考时钟上的时间给每个数据块都打上时间戳（一般包括开始时间和结束时间）；在播放时，读取数据块上的时间戳，同时参考当前参考时钟上的时间来安排播放（如果数据块的开始时间大于当前参考时钟上的时间，则不急于播放该数据块，直到参考时钟达到数据块的开始时间；如果数据块的开始时间小于当前参考时钟上的时间，则尽快播放这块数据或者索性将这块数据丢弃，以便播放进度追上参考时钟）。

可见，避免音视频不同步的现象有两个关键，一是在生成数据流时要打上正确的时间戳，如果数据块上打的时间戳本身有问题，那么播放时怎么调整也于事无补；二是在播放时基于时间戳对数据流控制，也就是对数据块早到或晚到采取不同的处理方法。基于时间戳的播放过程中，仅仅对早到的或晚到的数据块进行等待或快速处理有时候是不够的。

如果想要更加主动并且有效地调节播放性能，需要引入一个反馈机制，也就是要将当前数据流速度太快或太慢的状态反馈给“源”，让源去放慢或加快数据流的速度。熟悉DirectShow的开发者一定知道，DirectShow中的质量控制（Quality Control）就是这么一个反馈机制。

Gstreamer使用时钟来维持管道中的播放同步。时钟是由某些元件（如audio sink）来提供的，因此，其他元件只是从属于该时钟。时钟的主要任务是根据提供时钟元件的播放速率显示时间进度。如果管道中没有元件提供时钟，那么系统时钟会替代元件来提供时钟。

Gstreamer从播放状态中衍生出四个重要的时钟概念，分别是clock time(absolute time)、base time、running time、stream time。clock time是管道维护的一个全局时钟，是一个以纳秒为单位的单调递增时钟，可以通过gst\_clock\_get\_time()函数获取，如果管道中没有元素提供时钟，则使用该系统时钟。base time指媒体从0开始的全局时间值，可以通过\_get\_time()函数获取。running time表示媒体处于PLAYING状态时流逝的时间。stream time是媒体播放的位置（在整个媒体流中）。

管道的同步通过如下三个方面实现：GstClock、Timestamps of GstBuffer、NEW\_SEGMENT event preceding the buffers。running\_time有两种计算方式：第一种是用全局时钟和元素的base\_time计算，running\_time = absolute\_time – base\_time；第二种是用buffer的时间戳和NEW\_SEGMENT事件计算（假设rate为正值），running\_time = (B.timestamp – NS.start) / NS.abs\_rate + NS.accum。同步主要是保证上述两个时间计算值的相同，即absolute\_time – base\_time = (B.timestamp – NS.start)/NS.abs\_rate + Ns.accum，而absolute\_time也就是Buffer的同步时间（B.sync\_time == absolute\_time），因此B.sync\_time = (B.timestamp – NS.start)/NS.abs\_rate + Ns.accum + base\_time

在render之前需要等待，直到时钟到达sync\_time；对于多个流，则是具有相同running\_time的将会同步播放；解复用器（demuxer）则需要保证同时播放的Buffers具有相同的running\_time，因此会给Buffer附上相同的时间戳以保证同步。

管道中元素与时钟的同步仅仅发生在各个sink中，如果其他元素对buffer没有延迟的话，那么延迟就为0。延迟的引入主要是基于这样的考虑，buffer从source推送到sink会花费一定的时间，从而可能导致buffer被丢弃。这个问题一般发生在活动管道，sink被设置为PLAYING并且buffer没有被预送（preroll）至sink。

一般的解决方案是在被预送（preroll）之前所有sink都不能设置为PLAYING状态。为了达到这样的目的，管道需要跟踪所有需要被预送的元素（就是在状态改变后返回ASYNC的元素），这些元素发送一个ASYNC\_START消息，当元素进行预送，便把状态设置为PAUSED，同时发送一个ASYNC\_DONE消息，该消息恰好与之前的ASYNC\_START相对应。当管道收集了所有与ASYNC\_START消息对应的ASYNC\_DONE消息以后便可以开始计算全局延迟了。

Gstreamer的同中步主要在sink中实现，在render之前进行，因此一般在函数GstBaseSink::render中具体实现。同步指的是buffer在进入到每个sink、render之前与时钟的同步。媒体流在解复用后，在其多个流（比如音频流和视频流）的buffer中附加了时间戳，因此在sink进行输出之前分别与时钟进行同步，即可达到A/V的同步输出。

在gstreamer-0.10.3之前，同步在GstBaseSink的函数gst\_base\_sink\_render\_object()中实现，子类对其进行覆盖的很少。在之后版本中，在某些具体的sink子类中进行了覆盖，使得同步的效果达到了最佳。比如在GstBaseAudioSink的函数gst\_base\_audio\_sink\_render()中对Audio的同步进行了覆盖。然而对于食品的同步并没有覆盖，仍然在基类中进行实现。

2.4 音视频编解码压缩标准

音视频压缩技术是指采用恰当的数字信号处理技术对原始的音频视频数字信号进行压缩编码。而压缩编码必须要用相应的解压缩或解码的逆变化，只有采取了逆变换过程将信号还原给观众才能进行节目观看。经过一段时间的发展，音视频编解码方案已经出现了很多，目前常见的主要是MPEG系列和H.26X系列，其中H.264X系列只用于视频方面的压缩编码，而MPEG系列在音频视频编码方面都适用。

2.4.1 音频编解码压缩标准

音频压缩主要有无损压缩和有损压缩两种，其下对应的压缩技术又有很多种。目前，音频编码的标准主要有：MPEG-1、Dolby AC-3、AAC以及WMA。而MPEG-1中的III层标准——MPEG Audio Layer3是目前应用最广泛的音频编解码压缩标准。

* MPEG-1与MP3

由运动图像专家组开发的MPEG-1标准（ISO/IEC11172-3）在音频编码方面分为I层、II层和III层三层，每层都在计算复杂度和声音的质量方面较上一层有所提高，且II层和III层又分别被称为MP2和MP3。这三层是分等级的，每一层的比特流格式和解码器被指定，其中I层解码器只能处理本层，II层解码器能处理本层以及I层，而III层解码器三层都能处理。

这三层工作在想进的比特率范围内：I层工作在32~448kbit/s范围；II层工作在8~384kbit/s范围；III层工作在8~320kbit/s范围。虽然三层工作范围相似，但目标比特率不同，从I层到III层分别是每信道192kbits/s、128kbits/s和64kbit/s。这三层编码方案的目的都是尽可能的保证声音质量，都采用了感知方法，利用人类听觉系统中存在的某些特定缺陷去对信号进行处理，从另一个方面保证了人们感知到的声音质量。I层在VCD中得到了应用；II层因为复杂度恰当、声音质量优秀在一些数字节目的制作、传送等方面得到广泛使用；III层是在II层基础上融合了ASPEC思想的混合压缩技术，在低码率情况下拥有较高的声音质量，因而在软解压和网络广播方面如鱼得水。

下面我们来了解一下MPEG-1标准中的III层。

MPEG-1标准在编解码压缩方面的制定是相当成功的，其定制思路不仅仅局限于本身，甚至影响了后来制定的MPEG-2和MPEG-4音频标准。目前，此标准中III层——MP3（MPEG Audio Layer-3）技术广为应用，尤其是在网络传播方面的应用最为广泛，是一种高效的编码方案。

MP3的压缩率不仅是MPEG-1系列中最高的，也是所有标准中极高的一个，能达到1:10甚至1:12的比例，从而大大节省了对存储空间的要求。这么高的压缩比率却不会影响到声音的质量，即便是1:24的比例也因MP3采用了感知编码技术而能保持声音的质量。这样一来，高压缩和高保真两种优势共存的MP3无疑是极为理想的音频压缩方案，是目前互联网上应用最为广泛的标准之一。

* Dolby AC-3

到目前为止，环绕声技术发展的已经非常成熟，已组建成为声音形式的主流。环绕声压缩技术也对应的出现了很多，其中就有Dolby AC-3。

Dolby AC-3音频压缩技术是由美国的杜比实验室开发的一种感知型压缩编码技术，在5.1声道条件下的压缩比例达到了10:1，目前在环绕声压缩方面已经是应用最广的技术之一。

一些比较有效的先进压缩技术都在Dolby AC-3技术中得到了使用，例如：公共比池、TDAC滤波、频谱包络编码等。Dolby AC-3是杜比公司几十年来一个重要的结晶，在技术技术上拥有巨大的优势，被广泛应用于影院系统、HDTV、消费电子等方面，也被许许多多的厂商支持，成为了默认的标准。

* WMA

WMA标准是微软公司制定的一种音频压缩标准，在比特率低于128kbit/s时与同级别的其他有损编码技术相比音质极为突出，生成文件所需的存储容量也是其中的佼佼者，但是在高于128kbit/s时，音质的损失过大。WMA的音质和压缩比都比MP3要优秀，更比RA要优秀的多，在较低的采样频率下也可以保证较好音质。这项标准还有微软公司的Windows Media Player这个强大的后盾，可为市场优势巨大，但可惜的是微软公司并不公开此项技术。

2.4.2 视频编解码压缩标准

现在有一点已经十分确定，那就是没有经过压缩的视频想要被传输几乎是不可能实现的，必须经过大比例的压缩解码。而经过几十年的发展，现在已经有很多的技术及算法来实现视频压缩了。一个视频压缩系统必须同时有编码和解码两种对立的算法，以实现数据的传输和最终的播放。下面本文主要对JPEG标准和MPEG标准进行了简单的解说。

* JPEG标准

视频其实就是配上了声音的图像序列，如果将一个能对单一的图像进行编码的好算法不断的用在这个序列的每一个单一图像上，那这个方法其实就是实现了视频的压缩。

JPEG标准是一批图像专家在ISO、IEC以及ITU的共同赞助下开发的，用于连续色调的图像的压缩，这些图像都是如照片类的静止图像。这个标准是多媒体的重要基础，后来开发的MPEG标准（针对运动图像的压缩标准）实质上是在每帧图像都采用了JPEG标准进行编码的基础上添加了一些特殊操作。

JPEG标准拥有四种模式，它的编码过程中在经过了块准备、离散余弦变换、量化等步骤后会对代表图像的数值进行霍夫曼编码，方便数据的存储和传输。

JPEG标准其实是比较复杂的，但它的压缩率通常可以达到20:1，甚至可能达到更高的压缩效率，因而被广泛使用。这个算法拥有一个特点：编码与解码两个对立的过程所需时间是一样的。

* MPEG标准

MPEG标准是用于压缩视频的国际标准，应用广泛，既可以用于视频的压缩也可用于音频的压缩。其实MPEG标准是一个系列，包括MPEG-1标准、MPEG-2标准、MPEG-4标准等。

MPEG-1标准是最先推出的，旨在用1.2Mbps的数据率产生352\*240的输出。不要小看这句话的意义，一个352\*240大小的图像，若同时带有每秒25帧和每像素24位颜色这样两个参数指标，需要的带宽将达到50.7Mbps，如此对比后，你会发现这个目标的重要性，这意味着40倍的压缩率。

MPEG-1有音频、视频和系统三部分，音频和视频将被分别编码，系统负责向这两部分添加时间戳，两路编码输出中都存在时间戳，如此一来被接收方收到后可以实现同步播放。接下来考虑的只有视频压缩部分。

MPEG-1的输出有四种帧：I帧、P帧、B帧和D帧。I（Intracoded）帧，即帧内编码帧，存储的是采用了JPEG标准编码的静止图像；P（Predictive）帧，即预测帧，存储的是与前一帧间的逐块差值；B（Bidirectional）帧，即双向帧，存储的是与前一帧、后一帧之间的差值；D（DC-coded）帧，即编码帧，存储的是用于快进的块平均值。

MPEG-2标准可以理解为是在MPEG-1标准的基础上增添了一部分特性、解码选项和帧格式，除了细节有所差别外，与MPEG-1原理极其相似。它的编码与MPEG-1的基本类似，但输出帧里没有D帧。值得注意的是，MPEG-2编码过程中的离散余弦变换使用了10\*10的块，这让系数数量升高了50%，使视频质量有所提高。

MPEG-2支持低（352\*240）、主要（720\*480）、高-1440（1440\*1152）以及高（1920\*1080）四种分辨率等级，第一个级别被用于VCR（可向后兼容MPEG-1），第二个级别被用于正常的NTSC广播，剩余的两个级别被用于HDTV（高清数字电视）。MPEG-2运行在4~8Mbps速率上能获得高质量的输出，它形成了DVD和数字卫星电视的基础，现在已经被广泛使用。值得注意的还有一点，那就是与MPEG-1标准支持逐行扫描的图像不同，MPEG-2还同时支持隔行扫描的图像。

MPEG-4标准与MPEG-1、MPEG-2相比，在提高低比特率压缩方面成绩斐然，且对多媒体系统的灵活性和交互性更加注重。采用MPEG-4标准在CIF或更高清晰度下得到的压缩视频，在清晰度和存储量方面都优于MPEG-1，更适宜在网上进行传输。

MPEG-4对传输速率要求并不高，带宽很窄的情况下也可以通过一些处理技术得到高质量的图像。MPEG-4对各种多媒体技术进行了充分的利用，对硬件要求很高，现在被广泛应用在视频点播、互联网的多媒体应用等领域。

* H.264标准

H.264是视频编码专家组（VCEG）以及运动图像专家小组（MPEG）联合组成的联合视频组JVT开发的一个新标准，是关于数字视频编码的标准，所以它既是H.264标准（就ITU-T方面而言），又是MPEG-4的第I0部分（就ISO/IEC方面而言），是现在最常用的视频压缩标准之一。

与当前视频编码方面的其他标准相比，H.264标准在同样的带宽条件下能保证图像的质量更加优异，它充分利用了统计冗余以及视频生理冗余来获得更高的压缩比，于是这个标准在保留了原有压缩技术优点的基础上又增添了以往技术所不具备的优点：

1）码率低：与MPEG-2、MPEG-4 ASP等以往的压缩技术相比，H.264压缩技术在相同图像质量下得到的数据量仅为MPEG-2的八分之一和MPEG-4的三分之一。很明显，这将大幅度的节省用户下载所需的时间以及与数据量相关的收费情况。

2）图像质量高：H.264压缩技术可以提供连续的流畅的能达到DVD质量的高质量图像。

3）容错能力强：H.264压缩技术提供了一些必要的工具，用以解决网络环境不稳定时遭遇的信息丢包等错误。

4）网络适应性强：H.264压缩技术提供了网络抽象层，这让采用本压缩技术得到的压缩文件能较为轻易的传输于不同的网络之上，如CDMA、GPRS、WCDMA等。

2.5 本章小结

3 需求分析

3.1 功能需求

3.1.1 所支持的音视频文件格式

系统所需要支持的音视频文件格式及编码格式如下表（表3-1）

表3-1 支持文件格式与编码格式

Table 3-1 the supported file format and encoding format

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类型 | 支持文件格式 | 支持编码方式 |
| 音频 | MP3，AAC，OGG | AAC，MP3，Vorbis |
| 视频 | MP4，AVI，MKV，WEBM，3GP，TS，OGG | H.264，MPEG-4 |

3.1.2 提供给第三方应用的支持

系统除了要支持Chromium浏览器的本地及网络音视频的播放外，还需支持WebAPP相关音视频的播放，以及本地媒体播放器（例如：播放SD卡以及U盘内音视频文件）。

3.1.3 用例列表

|  |
| --- |
| 用例名称：音量控制 |
| 参与者：用户 |
| 目标：使得用户可以调节声音的大小 |
| 前置条件：播放正在运行 |
| 基本事件流： 1. 用户操作软件界面上音量图标左右滑动或者操作实体按键音量加、音量减  2. 音量随之增大或降低 |

|  |
| --- |
| 用例名称：静音控制 |
| 参与者：用户 |
| 目标：使得用户可以快速的将声音调到无声状态 |
| 前置条件：播放正在运行 |
| 基本事件流： 1.用户点击软件界面静音按钮或实体按键的静音键  2.音量立即将为0 |

|  |
| --- |
| 用例名称：播放 |
| 参与者：用户 |
| 目标：使得用户可以播放在播放列表中选中的文件 |
| 前置条件：当前处于暂停或停止状态 |
| 基本事件流： 1.用户点击软件界面播放按钮或实体键播放键  2.播放当前选中的文件 |

|  |
| --- |
| 用例名称：暂停 |
| 参与者：用户 |
| 目标：使得用户可以暂停正在播放的文件 |
| 前置条件：当前处于播放状态 |
| 基本事件流： 1.用户点击软件界面暂停按钮或实体键暂停键  2.正在播放的文件暂停播放 |

|  |
| --- |
| 用例名称：停止 |
| 参与者：用户 |
| 目标：使得用户可以停止正在播放或处于暂停状态的文件 |
| 前置条件：当前处于播放或暂停状态 |
| 基本事件流： 1.用户点击软件界面停止按钮或实体键停止键  2.正在播放或暂停的文件停止播放 |

|  |
| --- |
| 用例名称：获取播放进度 |
| 参与者：播放器 |
| 目标：使得播放器能够显示当前的播放进度 |
| 前置条件：当前处于播放或暂停状态 |
| 基本事件流： 1.播放器读取要播放的文件的时间  2.以数字的形式显示播放进度 |

|  |
| --- |
| 用例名称：获取播放状态 |
| 参与者：播放器 |
| 目标：使得播放器能够显示当前的状态，是播放中、暂停、停止或是发生Error |
| 前置条件：播放器已打开 |
| 基本事件流： 1.播放器读取状态  2.以图标或文字形式显示播放状态 |

|  |
| --- |
| 用例名称：获取文件信息 |
| 参与者：播放器 |
| 目标：使得用户能够了解所播放文件的信息，例如：标题、歌手、专辑、比特率 |
| 前置条件：文件头信息已经被加载 |
| 基本事件流： 1.播放器读取文件信息  2.通过文件或标签显示出来 |

|  |
| --- |
| 用例名称：事件通知 |
| 参与者：播放器 |
| 目标：使得用户能够了解当前文件的播放被高优先级的事务抢占，比如有电话打入、安全报警等 |
| 前置条件：播放正在运行 |
| 基本事件流： 1.收到抢占事件消息  2.将消息通知给用户，用户暂停播放 |

3.2 性能需求

3.2.1 对于网络音视频文件

（1）当发起网络加载时，加载响应时间不超过1秒。

（2）当网络信号较弱或网速较慢时，依据情况进行缓冲，并每隔10毫秒更新一次缓冲进度。

（3）若发生网络中断或遇到解码失败的情况，立即通知Error。

（4）若要求暂停时，软件响应时间最长不超过1秒。

（5）要求停止后，10秒后释放缓存所占资源空间。

3.2.2 对于本地音视频文件

（1）当要求对音视频文件资源进行播放时，软件响应时间最长不能超过2秒。

（2）当要求暂停时，软件响应时间最长不能超过1秒。

（3）播放过程中，要求解码迅速、播放不卡顿、音质良好、画面流畅。

3.3 可靠性需求

（1）连续运行一周无故障概率99.5%。

（2）如果发生Crash，能够立即回复。

3.4 资源使用需求

运行期间，占用最大内存不高于60M。

3.5 设计要求

3.5.1 设计原则

在将软件需求转换成设计模型的过程中，不仅要考虑如何实现功能需求，而且要考虑和关注软件的可扩充性、可维护性、可重复性和通用性，采用抽象、分解和模块化、封装和信息隐藏、高内聚和低耦合的原则进行设计。

3.5.2 编码要求

遵循开发流程，在设计的指导下进行代码编写，程序要具有良好的结构，提高程序的封装性，减低程序的耦合程度。代码要具有良好的可读性，易于理解，方便调试和测试；易于使用和维护，良好的修改性、扩充性、可重用性强、移植性好；在不降低可读性的前提下，尽量提高代码的执行效率和减少资源占用。

3.6 本章小结

4 设计与实现

4.1 Chromium中音视频框架分析

WebKit提供了支持多媒体规范的基础框架，如音视频元素、JavaScript接口和视频播放等。图4-1所示是WebKit支持视频的基础类和关系。



图4-1 WebKit支持视频的基础类和关系

Fig 4-1 The base classes supported by WebKit and their relationship

图中左侧HTMLMediaElement和HTMLVideoElement是DOM树中的节点类，分别对应W3C标准中的定义，包含众多接口，这些接口可以被JavaScript代码访问。

其次是MediaPlayer和MediaPlayerClient两个类，他们的作用非常明显。MediaPlayer是一个公共标准类，被HTMLMediaElement类使用来播放音频和视频，它本身只是提供抽象接口，具体实现依赖于不同的WebKit移植。同时，一些播放器的状态信息需要通知到HTMLMediaElement类，这里使用MediaPlayerClient类来定义这些有关状态信息的接口，HTMLMediaElement类需要继承MediaPlayerClient类并接收这些状态消息。根据前面的描述，规范要求将事件派发到JavaScript代码中，而这一实现在HTMLMediaEle­ment类完成。

然后是是不同移植对MediaPlayer类的实现，其中包括MediaPlayerPrivateInterface类和WebMediaPlayerClientImpl类。前者是除了Chromium移植之外使用的标准接口，也是一个抽象接口，由不同的移植来实现。后者是Chromium移植的实现类。为什么会这样？因为Chromium将WebKit复制出Blink最后就将MediaPlayerPrivateInterface类直接移除了，而在MediaPlayer类中直接调用它。WebMediaPlayerClientImpl类会使用Chromium移植自己定义的WebMediaPlayer接口来作为实际的播放器，而真正的播放器则是在Chromium项目的代码中来实现。

最后是同渲染有关的部分，这里面包含RenderObject树和RenderLayer树，图中RenderMedia类和RenderVideo是RenderObject的子类，用于表示Media节点和Video节点。图4-1是采用硬件加速机制的视频播放所使用的类，WebKit也支持使用软件渲染方式来播放视频，当需要绘制的时候，由RenderVideo类使用HTMLMediaElement类获取MediaPlayer对象，调用它的paint方法来让MediaPlayer对象将解码后的图像绘制在2D图像上下文接口中。

4.1.1 Chromium视频机制

因为视频资源相对其他资源而言，一般比较大，当用户播放视频的时候，需要连续性播放以获得较好的体验，但是网络可能不是一直都稳定和高速，所以资源的获取对用户体验很重要，需要使用缓存机制或者其他机制来获取视频资源。

图4-2是Chromium中缓存资源类。BufferDataSource类表示资源数据，它是一个简单的数据表示类，内部包含一个较小的内存空间，实际的缓冲机制由BufferResourceLoader类来完成。



图4-2 Chromium的视频资源缓存类

Fig 4-2 The cache classes supported by WebKit and their relationship

根据多进程架构的设计原则，Chromium的媒体播放器的实现应该在Renderer进程，而对于资源的获取，应该在Browser进程。Chromium支持媒体播放器的具体实现相当复杂，而且涉及到不同的操作系统，目前Chromium在不同的操作系统上实现的媒体播放器也不一样。图4-3是Chromium基础类，为了方便理解这些类和图4-1中类之间的关系，图4-3标注了一些WebKit中同Chromium直接相关的类。



图4-3 Chromium支持视频的基础类和关系

Fig 4-3 The base classes supported by WebKit and their relationship

图4-3上半部分是WebKit和WebKit的Chromium移植中的相关类，下半部分是Chromium中使用硬件加速机制来实现视频播放的基础设施类。而从左往右看，左边部分是播放器的具体实现类，右边部分则是支持视频在合成工作中的相关类。

首先来看一看这些类和对象的创建过程。WebMediaPlayerClientImpl类是WebKit在创建HTMLMediaElement对象之后创建MediaPlayer对象的时候，由MediaPlayer对象来创建的。当视频资源开始加载的时候，WebKit创建一个WebMediaPlayer对象，当然就是Chromium中的具体实现类WebMediaPlayerImpl对象，同时WebMediaPlayerClientImpl类也实现了WebMediaPlayerClient类，所以WebMediaPlayerImpl在播放视频的过程中需要向该WebMediaPlayerClient类更新各种状态，这些状态信息最终会传递到HTMLMediaElement类中，最终可能成为JavaScript事件。之后，WebMediaPlayerImpl对象会创建一个WebLayerImpl对象，还会同时创建VideoLayer对象，根据合成器的设计，Chromium还有一个LayerImpl树，在同步的时候VideoLayer对象对应的VideoLayerImpl对象会被创建。之后Chromium需要创建VideoFrameProviderClientImpl对象，该对象将合成器的Video层同视频播放器联系起来并将合成器绘制一帧的请求转给提供视频内容的VideoFrameProvider类，这实际上是调用Chromium的媒体播放器WebMediaPlayerImpl，因为它就是一个VideoFrameProvider类的实现子类。

然后是Chromium如何使用这些类来生成和显示每一帧的。当合成器调用每一层来绘制下一帧的时候，VideoFrameProviderClientImpl::AcquireLockAndCurrentFrame()函数会被调用，然后该函数调用WebMediaPlayerImpl类的GetCurrentFrame函数返回当前一帧的数据。VideoLayerImpl类根据需要会将这一帧数据上传到GPU的纹理对象中。当绘制完这一帧之后，VideoLayerImpl调用VideoFrameProviderClientImpl::PutCurrentFrame来通知播放器这一帧已绘制完成，并释放掉相应的资源。同时，媒体播放器也可以通知播放器这一帧已绘制完成，并释放掉相应的资源。同时，媒体播放器也可以通知合成器有一些新帧生成，需要绘制出来，它首先调用播放器的VideoFrameProvider::DidReceiveFrame()函数，该函数用来检查当前有没有VideoLayerImpl对象，如果有对象存在，需要设置它的SetNeedsRedraw标记位，这样，合成器就知道需要重新生成新的一帧。

最后是上述有关视频播放对象的销毁过程。有多种情况使Chromium需要销毁媒体播放器和相关资源，如video对象被移除或者设置为隐藏等，这样视频元素对应的各种层对象，以及WebKit和Chromium中的这些设施就会被销毁。

在桌面系统中，Chromium使用了一套多媒体播放框架，而不是直接使用系统或者第三方库的解决方案。图4-3是Chromium在桌面系统中采用的多媒体播放引擎的工作模块和过程，这一框架称为多媒体管线化引擎，图中主要的模块是多路分配器(Demuxer)、音视频解码器、音视频渲染器。这些部分主要是被WebMediaPlayerImpl类调用。



图4-4 Chromium的多媒体管线化引擎

Fig 4-4 The multimedia pipeline engine of Chromium

在处理音视频的管线化过程中，需要解码器和渲染器来分别处理视频和音频数据。它们均采用一种叫做“拉”而不是“推”的方式进行，也就是说由视频或者音频渲染器根据声卡或者时钟控制器，按需要来请求解码器解码数据，然后解码器和渲染器又向前请求“拉”数据，直到请求从视频资源文件读入数据。根据之前的多进程架构和Chromium的安全机制，整个管线化引擎虽然在Renderer进程中，但是由于Renderer进程不能访问声卡，所以图中渲染器需要通过IPC将数据或者消息同Browser进程通信，由Browser进程来访问声卡。

4.2 设计

4.2.1 概要设计

根据需求分析，在整体上可以分为三个部分：

Chromium Media Portability Implement

Media Service

AVChannel Manager

硬件

图4-5 整体模块划分

Fig 4-5 The overall modules

Chromium Media Portability Implement：它是与Chromium关联最强的部分，通过他联通了Chr­­­­­om­iu­­­m和Media Service的桥梁。当Chromium需要创建一个播放器来播放音视频文件的时候，此处的播放器被创建，与Media Service通信。

Media Service是随系统启动的一个进程，等待使用者的连接和播放控制，是真正的音视频播放的执行者。

AVChannel Manager是多媒体通道资源管理者及调配者，比如管理着声音类型的优先级，各种中断，等等。

4.2.2 Chromium Media Portability Implement分析与设计

当Chromium渲染引擎遇到<video> tag时，会创建对应的Element对象HTML­VideoElement；同样地，当遇到<audio> tag的时候，会创建HTMLAudioElement对象。HTMLVideoElement和HTMLAudioElement都是从HTMLMediaElement派生，他们之间的类关系如图4-6所示。



图4-6 Chromium中媒体类派生关系

Fig 4-6 Media derived relationships in Chromium

从上图（图4-6）可以看出，在HTMLMediaElement是HTMLAudioElement和HTMLVideoElement的父类，中拥有一个Media播放器，当音视频需要播放的时候，会通过MediaPlayer进行。从上图中我们可以看到，WebMediaPlayerClient­Impl是Media­Player的子类，负责Media播放的实现。而其实，WebMediaPlayerClientImpl也不是Media播放的真正实现者，WebMediaPlayerClientImpl又把播放的任务委托给了WebMedia­Player，如下图（图4-7）所示，WebMediaPlayer其实也只是一个接口类，根据不同的移植有不同的实现，图4-7中WebMediaPlayer右侧的WebMediaPlayerClient是播放状态的监听者，由图4-6中的WebMediaPlayerClientImpl继承实现，从而把播放状态层层向上反馈，最终在浏览器的页面上体现出来，比如播放进度的更新，等等。

图4-7 Chromium Media的实现

Fig 4-7 the implementation of Chromium Media



对于图4-7中的各个类做如下说明：

WebMediaPlayer：接口类，被WebMediaPlayerSmartAuto实现，提供给Chromium使用。

WebMediaPlayerClient：接口类，由Chromium实现，主要用于简体player的状态及通知事件，并做出相应动作。

WebMediaPlayerSmartAuto：WebMediaPlayer的实现者，实现WebMediaPlayer的所有接口。

RenderFrameImpl：是Chromium源代码中的类，我们在这个类里创建了Web­M­ediaPlayerSmartAuto。

RendererMediaPlayerManager：对WebMediaPlayerSmartAuto进行管理的管类

IPC：进程间通信相关，Chromium源生代码。

MediaWebContentsObserver：接收和过滤Render进程发出的Media消息。

BrowserMediaPlayerManager：对MediaPlayerSmartAuto进行管理。

MediaPlayerSmartAuto：Browser进程中的Media播放器。

WebMedia：接口类，被WebMediaImpl实现。

WebMediaImpl：实现WebMedia，中间件，负责Chromium和本地libMedia（NMCl­assicMediaPlayer）的衔接。

NMClassicMediaPlayer：可以看做Media Service提供的proxy类，给WebMediaImp使用。

PlayerListener：监听NMClassicMediaPlayer的状态变化及事件通知。

WebMediaCb：接口类，被WebMediaCbImpl实现。

WebMediaCbImpl：实现WebMediaCb，向MediaPlayerSmartAuto通知各种事件及状态变化。

AVChannelClient：资源管理的监听者，当监听到声音通道被抢占、视频交替、后者高优先级Source切换的变化后通知给Player。

NCSubChannelManager：对资源管理的子集类

AVChannelManager：管理各Channel，声音及视频通道的打开、关闭、切换、状态维护等。

在上图中，WebMediaSmartAuto是针对Chromium的WebMediaPlayer的实现者。在RenderFrameImpl的函数createMediaPlayer()中，完成了对播放引擎（在Chromium中有一套完善的播放引擎创建的规则，这里的引擎可以理解为播放器）的创建。关于WebMediaSmartAuto的I/F接口一览，我们可以参看以下表4-1。

表4-1 WebMediaSmartAuto I/F一览

Table4-1 WebMediaSmartAuto interface list

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **FunctionName** | **Param** | **Return** | **备注** |
| load | WebURL | void | 加载文件 |
| play | void | void | 播放 |
| pause | void | void | 暂停 |
| paint | Rect | void | 视频描画 |
| paused | void | bool | 判断是否暂停 |
| currentTime | void | double | 获取当前播放进度 |
| duration | void | double | 获取音视频文件总时长 |
| networkState | void | NetworkState | 获取网络状态 |
| readyState | void | ReadyState | 获取当前准备状态 |
| OnTimeUpdate | double | void | 进度更新通知 |
| OnDurationChanged | double | void | 总时长更新通知 |
| UpdateReadyState | ReadyState | void | 准备状态变更通知 |
| UpdateNetworkState | NetworkState | void | 网络状态变化通知 |
| playbackStateChanged | void | void | 播放状态变更通知 |

以上各函数的详细说明如下所示

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 関数名称 | | load | |
| 処理概要 | | 加载文件 | |
| 参数 | 1 | WebURL | 网络音视频资源文件的路径 |
| 返値 | | void |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 関数名称 | | play | |
| 処理概要 | | 播放 | |
| 参数 | 0 | void |  |
| 返値 | | void |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 関数名称 | | pause | |
| 処理概要 | | 暂停 | |
| 参数 | 0 | void |  |
| 返値 | | void |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 関数名称 | | paint | |
| 処理概要 | | 描画视频 | |
| 参数 | 1 | Rect | 描画区域 |
| 返値 | | void |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 関数名称 | | paused | |
| 処理概要 | | 判断是否暂停 | |
| 参数 | 0 | void |  |
| 返値 | | bool | true:暂停 false:非暂停 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 関数名称 | | currentTime | |
| 処理概要 | | 获取当前播放进度 | |
| 参数 | 0 | void |  |
| 返値 | | double | 当前播放时间,单位sec |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 関数名称 | | duration | |
| 処理概要 | | 获取音视频文件总时长 | |
| 参数 | 0 | void |  |
| 返値 | | double | 音视频文件总时长, 单位sec |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 関数名称 | | OnTimeUpdate | |
| 処理概要 | | 进度更新通知 | |
| 参数 | 1 | double | 当前进度 |
| 返値 | | void |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 関数名称 | | OnDurationChanged | |
| 処理概要 | | 总时长更新通知 | |
| 参数 | 1 | double | 音视频文件总时长 |
| 返値 | | void |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 関数名称 | | UpdateReadyState | |
| 処理概要 | | 准备状态变更通知 | |
| 参数 | 1 | ReadyState | 准备状态定义  ReadyStateHaveNothing：  没有关于音频/视频是否就绪的信息  ReadyStateHaveMetadata：  关于音频/视频就绪的元数据  ReadyStateHaveCurrentData：  关于当前播放位置的数据是可用的，但没有足够的数据来播放下一帧  ReadyStateHaveFutureData：  当前及至少下一帧的数据是可用的  ReadyStateHaveEnoughData：  可用数据足以开始播放 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 関数名称 | | readyState | |
| 処理概要 | | 获取准备状态 | |
| 参数 | 0 | void |  |
| 返値 | | ReadyState | 准备状态的定义参看函数UpdateReadyState中ReadyState的定义 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 関数名称 | | UpdateNetworkState | |
| 処理概要 | | 网络态变更通知 | |
| 参数 | 1 | NetworkState | 网络状态  NetworkStateEmpty：  音频/视频尚未初始化  NetworkStateIdle：  音频/视频是活动的且已选取资源，但并未使用网络  NetworkStateLoading:  浏览器正在下载数据  NetworkStateLoaded：  加载完毕  NetworkStateFormatError：  格式错误  NetworkStateNetworkError：  网络错误  NetworkStateDecodeError：  解码错误 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 関数名称 | | networkState | |
| 処理概要 | | 获取网络状态 | |
| 参数 | 0 | void |  |
| 返値 | | NetworkState | 网络状态的定义参看函数UpdateNetworkState中NetworkState的定义 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 関数名称 | | playbackStateChanged | |
| 処理概要 | | 播放状态变更通知 | |
| 参数 | 0 | void |  |
| 返値 | | void |  |

从播放引擎被创建到开始播放的Sequence如图4-8所示，首先在播放器WebMe­dia­PlayerSmartAuto在Render­Frame­Impl被创建，在WebMe­dia­PlayerSmartAuto中load函数被调用的时候，会通过动态加载函数创建WebMediaImpl，然后对WebMediaImpl进行初始化操作，在初始化函数initPlayer中创建NMClassicMediaPlayer，并调用其加载函数。然后，WebMediaImpl调用AVChannelManager的active函数激活通道，开始play。当播放器进入paly状态后，把PLAYING状态通过回调函数playStateChanged()通知给Chromium浏览器，这时候用户在界面上看到的音视频文件在播放。

图4-8 播放器从被创建到开始播放的序列图

Fig4-8 the sequence of Media player being created and start

在音视频被播放的过程中，如果有电话接入、或者有交通警报等高优先级声音切入，就会发生声音通道被抢占的情况，此时，需要暂停Media的播放，其Sequence图如图4-9所示。首先，NCSubChannelManager将声音通道被抢占的通知发送给WebMediaPlayer；然后WebMediaPlayer调用pause函数暂停播放，并把暂停状态通知给WebMedia­Player­­SmartAuto，WebMediaPlayer­SmartAuto将pause状态通知给Chromium浏览器，用户看到播放器被暂停，高优先级的声音切入。



图4-9 声音通道被抢占的序列图

Fig4-9 the sequence diagram of the sound channel is occupied

4.2.3 Media Service分析与设计

我们希望所设计出的音视频播放系统除了支持Chromium音视频的播放外，还能支持本地等其他播放应用的需求。所以，我们把Media播放的业务实现做成一个Service运行于独立的进程，当客户端需要播放音视频的时候，就是用进程间通讯的方式和Serv­ice进行交互，图4-10展示了Media Service的类图结构。

在4.2.2小节中，我们提到WebMediaImpl使用了一个类叫NMClassic­MediaPlayer，这个类可以看做Media Service对外的client，当客户端需要使用播放的时候，可以使用此类和Service进行交互，进程间的通讯对于使用者来说是透明的。

在NMClassic­MediaPlayer中封装Service的proxy，即NMMediaPlayerProxy，它负责通过进程间通讯和Media Service的业务实现进行交互。进程间通讯的实现在不同的平台有不同的实现，例如在Android系统中可以使用binder完成。

NMMediaPlayerService是进程间通讯的另外一端，接收和处理NMMediaPlayerProxy发来的各种请求，并把结果再通过NMClassicMediaPlayerListener通知给调用者。

NMMediaPlayerClientManager是Service端播放器的管理者，真正播放器的创建，是由NMMediaPlayerClientInst完成。NMUnifiedPlayer会根据不同的需求创建NMStream­PlayerImpl或NMGstPlayerImpl。

在NMStream­PlayerImpl和NMGstPlayerImpl中使用Gstreamer插件完成对音视频流媒体和文件的解码播放。类图的最下方是外部依赖的库，由硬件供应商提供。



图4-10 Media Service 类图

Fig4-10 the class diagram of media service

4.2.4 AVChannel Manager分析与设计

AVChannel Manager模块控制与裁决source优先级的管理模块，根据不同的情况调整哪个source播放声音，哪个source暂停播放，这里的source指的是音频源或视频源。图4-11展现的是AVChannel Manager模块的类关系。



图4-11 AVChannel Manager 类图

Fig4-11 the class diagram of AVChannel Manager

在上图（图4-11）中，AVChannelManager是提供给用户使用的类，被Media Service模块的WebMediaImpl调用，假设WebMediaImpl要开始播放一段视频资源，首先要使用AVChannelManager的函数void activate(MediaTypeMask types, OutputMask outputs)来激活声音通道，当申请的声音通道被激活后，会在notifyStatusChangedAsync(const std::string &audioName, const std::string &status)通知状态变化，然后就可以开始播放了。

在AVChannelManager中封装了NCSubChannelManager，AVChannelManager将调度的实现委托给是NCSubChannelManager，NCSubChannelManager是进行source调度的实现者。

NCSubChannelListener是NCSubChannelManager的回调类，将状态的变化以及对NCSubChannelManager函数调用的结果反馈给调用者，调用者在使用NCSubChannel­Manager前需要使用实现NCSubChannelListener。

AVChannelClient是NCSubChannelListener子类，实现对NCSubChannelManager的通知回调处理，在AVChannelManager被创建的时候，AVChannelManager会创建一个AVChannelClient，然后把它注册到NCSubChannelManager。

NCSubChannelPluginCtrl是更底层的类，和硬件通讯，控制音视频通道的开启与关闭。它依赖于第三方库libnmavmplugin，为便于使用，是对依赖库的二次封装。

4.3实现

上一节介绍了基于Gstreamer的Chromium音视频播放系统的分析与设计，本节主要论述其实现过程。关于Chromium源码的获取及移植不是本文重点，这里不再展开，具体可参考Chromium Project官方网站<https://www.chromium.org>，有比较详细的说明。

4.3.1 Chromium Media Portability Implement相关的实现

在图4-7中，我们看到在类RenderFrameImpl中有一个函数是createMediaPlayer，这里便是Chromium的Media被创建的地方。注释掉原来创建函数的代码，改为我们自己的创建播放器代码，此函数中我们调用自己创建player的函数CreateSmartAutoWeb­Media­Player() ，在此函数中，创建WebMediaPlayerSmartAuto对象，并把它交给Renderer­MediaPlayerManager对象进行管理。WebMediaPlayer­SmartAuto是WebMediaPlayer的子类，函数返回值是WebMediaPlayer的指针。

当WebMediaPlayerSmartAuto对象被创建完成，它的load函数将会被调用。在WebMediaPlayerSmartAuto的load函数中，完成初始化操作，此过程是一个跨进程的操作。首先，我们上面看到的RenderFrameImpl对象和WebMediaPlayerSmartAuto对象，它们均运行于Render进程，这里的WebMediaPlayerSmartAuto本子上来讲只是一个proxy，它没有真正的业务逻辑的实现，所有动作都是抛到另外一个进程，即Browser进程完成。

在load被调用的时候，内部函数InitializePlayer被调用，在InitializePlayer通过Renderer­MediaPlayerManager发送一个初始化的消息：

Send(new MediaPlayerHostMsg\_Initialize(routing\_id(), media\_player\_params))

此消息在另外一个独立进程Browser中被MediaWebContentsObserver接收，Media­WebContentsObserver接到初始化消息后调用BrowserMediaPlayerManager的OnInitialize函数。

在BrowserMediaPlayerManager的OnInitialize函数中，创建MediaPlayerSmartAuto对象，然后调用MediaPlayerSmartAuto的load函数。MediaPlayerSmartAuto被创建时，在其构造函数中，通过动态函数加载动态库libWebMedia.so：

dlopen("libWebMedia.so", RTLD\_NOW)

利用这个动态库，创建WebMediaImpl对象：

m\_createWebMedia = (createObjFunc \*) dlsym(m\_dlHandle, "createObj");

createObj的实现在WebMediaImpl.cpp文件里实现：

extern "C" nutshell::web::WebMedia \*createObj(nutshell::web::WebMediaCb \*cb)

{

return new nutshell::web::WebMediaImpl(cb);

}

至此，便完成了从Render进程到Browser进程Media Player的创建过程。通过上述介绍可以看出，Render进程的Player只是一个影子，它通过Chromium独特的进程间通信的方式，在Render进程中将一切的函数请求转换成消息抛给Browser进程，Browser进程收到消息后对消息进行处理，在Browser进程里创建了另外一个Meidia Player来响应Render进程的对应请求。

之所以这样做，一是因为Chromium的多进程架构设计，关于Chromium的多进程架构可以参看前面第二章中的描述，尤其在图2-11中进行了形象化的说明。二是因为一个Chromium实例可能会有多个Render进程，但只会有一个Browser进程，将Media Play的业务实现放在Browser进程便于管理。

4.3.2 Media Service相关的实现

Media Service是一个独立的服务，在系统启动时候被创建，然后等待客户端来连接。在MediaServiceMain的实现中，首先创建NMMediaServerProc进程：

NMMediaServerProc process(argc, argv)

然后对其进行初始化处理：

process.initialize(NMMediaServiceFac)

开启进程：

process.start()

进入到进程loop中，等待连接通信：

process.enterloop()

如果进程遇到终止的条件，则跳出loop，调用stop函数：

process.stop()

最后是反初始化：

process.deinitialize()

Media Service运行起来后，就处于等待处理的循环中。

在上一节提到，MediaPlayerSmartAuto会创建WebMediaImpl对象，当WebMediaImpl被创建，就会使用NMClassicMediaPlayer中的NMMediaPlayerProxy与NMMedia­Player­Service通信。NMMediaPlayerService通过NMMediaPlayerClientManager创建NMUnifiedPlayer，在NMUnifiedPlayer构造函数中根据feature的不同，来创建不同的Player进行处理。

如果检测到是流媒体的feature，就创建NMStreamPlayerImpl进行播放。在NMStream­PlayerImpl的prepareImpl函数中创建gloop和上下文：

m\_glibLoop->initLoop()

创建管道类：

createPipelineClass(&m\_pipelineClass, m\_mediaPath.c\_str(), NULL,

"pulsesink", "iautovideosink", NULL, elementCreateCallBack, this)

连接bus总线：

attachBusCall(GST\_ELEMENT\_CAST(m\_pipelineClass->pipeline()), m\_glibLoop->getGlibContext(), (GSourceFunc)busCall, this)

开启loop：

m\_glibLoop->startLoop()

如果检测到不是流媒体的feature，就创建NMGstPlayerImpl进行播放。在NMGst­PlayerImpl的prepareImpl函数中首先调用gstPrepare函数，gstPrepare完成gloop和上下文的创建：

m\_glibLoop->initLoop()

创建管道类：

createPipelineClass(&m\_pipelineClass, m\_mediaPath.c\_str(), NULL,

"pulsesink", "iautovideosink", NULL, elementCreateCallBack, this)

获取管道引用：

m\_pipeline = GST\_ELEMENT\_CAST(m\_pipelineClass->pipeline())

连接bus总线：

m\_busCallSource->attachBusCall(m\_pipeline, m\_glibLoop->getGlibContext(), (GSourceFunc)busCall, this)

开启loop：

m\_glibLoop->startLoop()

当调用到gstPlay()的时候，首先查看当前的播放状态，如果是PLAYING状态就直接返回，否则就调用setGstState改变状态开始播放：

setGstState(GST\_STATE\_PLAYING, NC\_TRUE, STATE\_CHANGE\_TIMEOUT, NC\_TRUE)

setGstState函数则是对gst\_element\_set\_state(m\_pipeline, state)的封装。

4.3.3 AVChannel Manager相关的实现

AVChannelManager在WebMediaImpl函数调用，用于通道的申请。当AVChannel­Manager的init函数被调用的时候，会通过调用NCSubChannelManager的registerAvm函数完成source的注册，即：

mNCSubChannelManager->registerAvm(NCString(WEBMEDIA\_AUDIO\_NAME), mClient)

当需要激活通道的时候，调用函数：

mNCSubChannelManager ->reqAudioSource(NCString(WEBMEDIA\_AUDIO\_NAME), true)

在NCSubChannelManager内部，会调用NCSubChannelPluginCtrl来实现，其本质是通过uComLib与硬件进行交互，uComLib是硬件供应商提供的动态库，此处不再展开。

4.4 本章小结

5 测试与优化

5.1音频测试

5.1.1 网络音频测试

打开常见的音频网站，例如：虾米音乐、百度音乐，点击其中的歌曲进行播放，能听到音乐流畅播放。测试截图如图5-1、5-2所示。

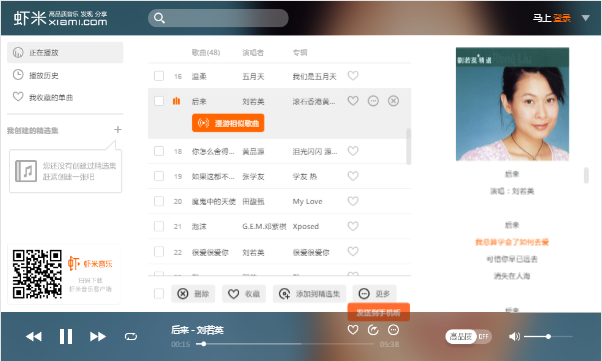


图5-1 测试虾米音乐网截图

Fig 5-1 the screen capture of testing xiaomi.com



图5-2 测试百度音乐网截图

Fig 5-2 the screen capture of testing music.baidu.com

5.1.2 本地音频测试

依照表3-1中列出的音频格式和编码格式，分别用对应的音频文件直接用Chromium浏览器本地打开测试播放，能听到正常的音乐播放声音，测试截图如图5-3。



图5-3 测试本地音乐文件截图

Fig 5-3 the screen capture of testing local music

5.2视频测试

5.2.1 网络视频测试

打开常见的视频频网站，例如：youtube、搜狐视频，点击其中的视频进行播放，能看到视频流畅播放。测试截图如图5-4、5-5所示。

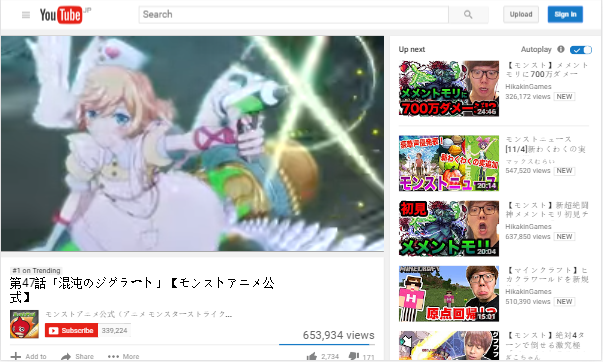


图5-4 测试youtube视频网截图

Fig 5-4 the screen capture of testing youtube.com



图5-5 测试搜狐视频网截图

Fig 5-5 the screen capture of testing tv.sohu.com

5.2.2 本地视频测试

依照表3-1中列出的视频格式和编码格式，分别用对应的视频文件直接用Chromium浏览器本地打开测试播放，能看到正常的视频播放画面，测试截图如图5-5。



图5-6 测试搜狐视频网截图

Fig 5-6 the screen capture of testing tv.sohu.com

5.3 优化

5.3.1 占用资源的优化

在嵌入式系统中，由于硬件资源十分有限，如果同时打开过个页面进行音视频的播放，则会占用大量的内存空间及处理器的消耗，经过测试，如果同时打开的播放音视频的页面过多，会造成播放卡顿、功耗过大、机器发烫现象。一般来说，在可移动的设备上，不太赞成支持多个音视频文件同事播放，以节省资源。所以，需要对各个页面的播放请求进行管理。

在第4章中我们知道，所有的播放工作都是在Browser进程进行的，而Browser进程在Chromium中是唯一的。所以，每当有播放请求的时候，可以在Browser进程的BrowserMediaPlayerManager对所有播放请求进行管理，控制同时播放的视频的个数。因此，我们可以在新的音视频播放请求加载的时候，暂停之前所有的播放，即每次只播放最新的请求暂停之前的音视频，从而降低资源与消耗。

5.3.2 视频描画效率的优化

当前视频的播放方式是先由解码器材进行解码，然后将解码后的数据存入到一块缓存里，Chromium读取缓存资源进行上屏描画，这是一个跨进程的过程。为了提升效率，可将其改为，由Media Service直接描画，Chromium浏览器在页面上挖洞的方法，偷到下一层的Media Service播放视频的Layer中，在体验上来说，用户看到的依然和之前的效果一样，但是减少了进程间通信的频率，描画效率得到了提升。

6 总结与展望

参考文献

[1] 阮胜才.视频点播系统的设计与实现[M].安徽：中国宇航出版社, 2008: 634-635.

[2] 高睿鹏，刘佳玲.基于 FFMPEG 的通用视频插件[D].内蒙古：内蒙古工业大学, 2010, 27(1)：2474-2476.

[3] 赛迪顾问半导体咨询事业部.2005年中国汽车电子市场规模达624 亿元.世界电子元器件，2006年第3期.

[4] 李淑荣.基于Gstreamer的网络媒体播放系统的开发[D]. 中国海洋大学: 中国海洋大学,2012

[5] wikipedia.http://en.wikipedia.org/wiki/GStreamer[J/OL]. last modified on 15 May 2015

[6] Richard John Boulton,Erik Walthinsen,Steve Baker,Leif Johnson,Ronald S. Bultje,Ronald S. Bultje,Tim-Philipp Muller,Wim Taymans.GStreamer PluginWrit-er's Guide ­(1.­5.0­.1­)­[­ J­/O­­L]. http://gstreamer.freedesktop.org/data/doc/gstreamer/head/pwg/html/inde­x.html. 2015.5.21

[7] Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic-link\_library[J/OL].last modified on 16­ May 2015

[8] Wikipedia, Web Brwoser[EB/OL]. http://en.wikipedia.org/wiki/Web\_browser

[9] Tim Berners-Lee. WorldWideWeb, the first Web client[EB/OL/].http://www.w3.org/People/Berners-Lee/WorldWideWeb.html, 2015-6-28.

[10] 赵经纬,周余,王自强等.基于WebKit的嵌入式浏览器的研究与实现.电子测量技术,200934(3),135-137

[11] 叶卿.嵌入式微浏览器的设计与实现:[D],北京:北京邮电大学.2005,22-25

[12] 西村贤.Chromium开发者[EB/0L/].http://www.atmarkit.co.jp/news/200903/30/chrome.html, 2009-3-30.

[13] 朱永盛.WebKit技术内幕[M].北京:电子工业出版社,2014:2-4

[14] 肖梦华.面向智能电视的嵌入式浏览器平台的研究与设计[D].上海:复旦大学.2013

[15] 许晔.发展嵌入式系统是我国后PC时代的战略选择[J].中国科技投资,2010,2:2-3

[16] 梁融凌,余昌嵩. 基于嵌入式Linux电子书的设计与实现[J].牡丹江师范学院学报(自然科学版),2014,4:13-14

[17] 冯礼哲,高声荣,罗怀琴,李逸.发展中的4G网络[J].科技视界,2015,5:23

[18] 罗锐.基于Blackfin平台的嵌入式播放器的研究与实现[D].成都:电子科技大学.2009

[19] 仇昊.基于GStreamer的嵌入式多媒体系统的研究与实现[D].北京:北京邮电大学.2011

[20] Taymans W, Baker S, Wingo A, etal.Gstreamer Application Development Manual (0.10.35.1)

[21] 黄铁军.视频编码国家标准AVS与国际标准MPEG的比较[DB/OL]. http://www.a-vs.org.cn/，2005.

[22] [https://en.wikipedia.org/wiki/Web\_browser, last modified on 7 June 2016](https://en.wikipedia.org/wiki/Web_browser,%20last%20modified%20on%207%20June%202016)

[23] 中国互联网信息中心.中国互联网报告[M].北京.2007

[24] http://trac.webkit.org/wiki/WebKit2. Hosted by Apple. 2016.6.15

[25] <https://gstreamer.freedesktop.org>

[26] Taymans Wim, Baker Steve, Wingo Andy, et a1. GStreamer Application Development Manual(0.10.33)[EB/OL],https://gstreamer.freedesktop.org/data/doc/gstreamer/0.10.33/manual, 2011-05-10

致 谢

在经过4年的工作实践后，能够重新踏入学校的大门，较为系统的学习软件工程知识，对我来说，实在是难得的机会。在两年多的学习过程中，既得到了良师的教诲，又得到了同学和益友的启发，使我受益良多。

在这篇论文的写作过程中，我的导师姚建国老师给予了我很大的帮助，本论文能够顺利完成，离不开导师的悉心指导和严格要求。姚老师治学态度严谨，工作态度认真，待人和蔼、朴实无华，不仅使我树立了自己的学术目标、掌握了基本的研究方法，还使我明白了许多待人接物与为人处世的道理。本论文从选题到完成，每一步都是在导师的指导下完成的，倾注了导师大量的心血。在此，谨向导师表示崇高的敬意和衷心的感谢！

此外，本文研究工作还得到了上海商泰软件有限公司、杭州微纳科技股份有限公司各位领导与同事的热情帮助，他们在专业领域的通晓给了我极大的帮助，在此向他们表示真诚的谢意！

我还也要感谢学校所有辛苦工作、为我们精心安排每次学习与活动的老师们，感谢他们给予我学业上无私的教诲和生活上亲切的关怀！感谢陪伴我的同学，感谢他们在学习和论文写作过程中给予的帮助和敦促。

同时，尤其感谢多年来一直给予我鼎力支持和无私奉献的父母以及支持和照顾我学业和生活的妻子，感谢他们默默的付出。

攻读学位期间发表的学术论文目录