桌面系统的混成器简史

目录

（原本是想写篇关于 Wayland 的文章，后来越写越长感觉能形成一个系列， 于是就先把这篇背景介绍性质

的部分发出来了。）

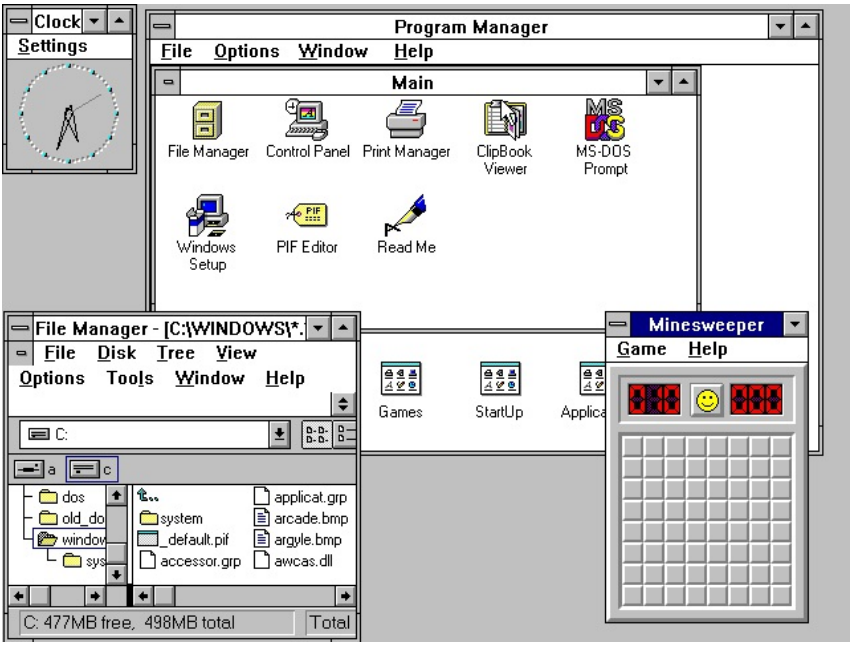
Linux 系统上要迎来 Wayland 了，或许大家能从各种渠道打听到 Wayland 是一个混成器，替代 X 作为显示服务器。 那么 **混成器** 是个什么东西，桌面系统为什么需要它呢？ 要理解为什么桌面系统需要 **混成器** （或者它的另一个叫法， 混成窗口管理器 （Compositing Window Manager）），在这篇文章中我想回顾一下历史， 了解一下混成器出现的前因后果。

首先介绍一下混成器出现前主要的一类窗口管理器，也就是 栈式窗口管理器 （Stacking Window Manager） 的实现方式。

本文中所有桌面截图来自维基百科，不具有著作权保护。

早期的栈式窗口管理器

栈式窗口管理器的例子，Windows 3.11 的桌面



我们知道最初图形界面的应用程序是全屏的，独占整个显示器（现在很多游戏机和手持设备的实现仍旧如此）。 所有程序都全屏并且任何时刻只能看到一个程序的输出，这个限制显然不能满足人们使用计算机的需求， 于是就有了 窗口 的概念，有了 桌面隐喻 。

Desktop Metaphor

在 桌面隐喻 中每个窗口只占用显示面积的一小部分， 有其显示的位置和大小，可以互相遮盖。于是栈式窗口管理器就是在图形界面中实现桌面隐喻的核心功能， 其实现方式大体就是：给每个窗口一个相对的“高度”或者说“远近”，比较高的窗口显得距离用户比较近，会覆盖其下比较低的窗口。绘图的时候窗口管理器会从把窗口按高低排序，按照从低到高的顺序使用 画家算法 绘制整个屏幕。

这里还要补充一点说明，在当时图形界面的概念刚刚普及的时候，绘图操作是非常“昂贵”的。 可以想象一下 800x600 像素的显示器输出下，每帧 真彩色 位图就要占掉 $800 \times 600 \times 3 \approx 1.4 \text{MiB}$ 的内存大小，30Hz 的刷新率（也就是30FPS）下每秒从 CPU 传往绘图设备的数据单单位图就需要 $1.4 \times 30 = 41 \text{MiB}$ 的带宽。对比一下当时的 VESA 接口总的数据传输能力也就是 $25 \text{MHz} \times 32 \text{bits} = 100 \text{MiB/s}$ 左右， 而 Windows 3.1 的最低内存需求是 1MB，对当时的硬件而言无论是显示设备、内存或是CPU， 这无疑都是一个庞大的负担。

于是在当时的硬件条件下采用栈式窗口管理器有一个巨大 **优势** ：如果正确地采用画家算法， 并且合理地控制重绘时 **只绘制没有被别的窗口覆盖的部分** ，那么无论有多少窗口互相 遮盖，都可以保证每次绘制屏幕的最大面积不会超过整个显示器的面积。 同样因为实现方式栈式窗口管理器也有一些难以回避的 **限制** ：

1. 窗口必须是矩形的，不能支持不规则形状的窗口。
2. 不支持透明或者半透明的颜色。
3. 为了优化效率，在缩放窗口和移动窗口的过程中，窗口的内容不会得到重绘请求， 必须等到缩放或者移动命令结束之后窗口才会重绘。

以上这些限制在早期的 X11 窗口管理器比如 twm 以及 XP 之前经典主题的 Windows 或者经典的 Mac OS 上都能看到。 在这些早期的窗口环境中，如果你拖动或者缩放一个窗口，那么将显示变化后的窗口边界， 这些用来预览的边界用快速的位图反转方式绘制。当你放开鼠

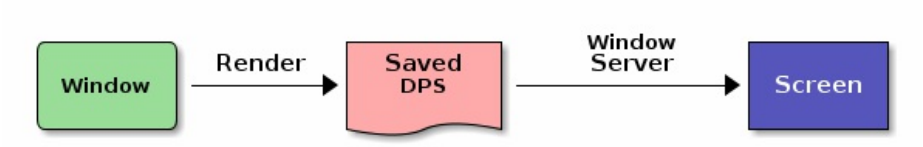
标的时候才会触发窗口的 重绘事件。 虽然有很多方法或者说技巧能绕过这些限制，比如 Windows XP 上就支持了实时的 重绘事件和不规则形状的窗口剪裁，不过这些技巧都是一连串的 hack ，难以扩展。

NeXTSTEP 与 Mac OS X 中混成器的发展

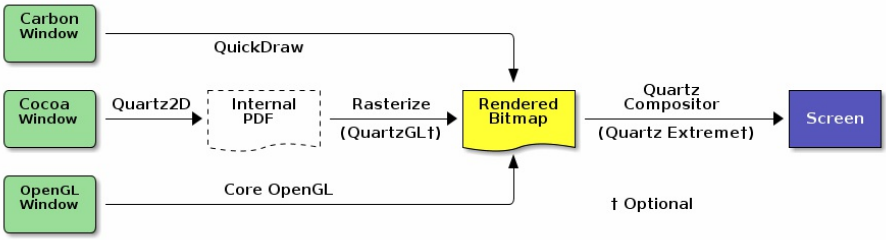
NeXTSTEP 桌面

转眼进入了千禧年， Windows 称霸了 PC 产业，苹果为重振 Macintosh 请回了 Jobs 基于 NeXTSTEP 开发 Mac OSX 。

NeXTSTEP 在当时提供的 GUI 界面技术相比较于同年代的 X 和 Windows 有一个很特别的地方： 拖动滚动条或者移动窗口的时候，窗口的内容是 **实时更新** 的，这比只显示一个缩放大小的框框来说被认为更直观。 而实现这个特性的基础是在 NeXTSTEP 中运用了 Display PostScript (DPS) 技术，简单地说，就是每个窗口并非直接输出到显示设备，而是把内容输出到 (Display) PostScript 格式交给窗口管理器，然后窗口管理器再在需要的时候把 PostScript 用软件解释器解释成位图显示在屏幕上。



比起让窗口直接绘制，这种方案在滚动和移动窗口的时候不需要重新渲染保存好的 DPS ， 所以能实现实时渲染。到了实现 Mac OS X 的时候，为了同时兼容老的 Mac 程序 API (carbon) 以及更快的渲染速度，以及考虑到 Adobe 对苹果收取的高昂的 Display PostScript 授权费， Mac OS X 的 Quartz 技术在矢量图的 PDF 描述模型和最终渲染之间又插入了一层抽象：



Mission Control

也就是说在 Mac OS X 中无论窗口用何种方式绘图，都会绘制输出成一副内存中的位图交给混成器， 而后者再在需要的时候将位图混成在屏幕上。这种设计使得2001年3月发布的 Mac OS X v10.0 成为了第一个广泛使用的具有软件混成器的操作系统。

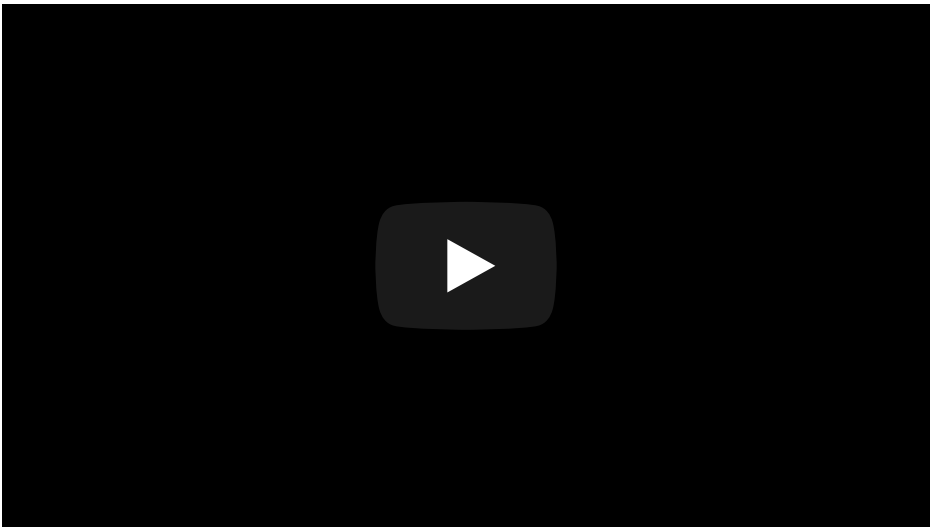
到了 Mac OS X v10.2 的时候，苹果又引入了 Quartz Extreme 让最后的混成渲染这一步发生在 显卡上。然后在 2003年1月公开亮相的 Mac OS X v10.3 中，他们公布

了 Exposé (后来改名为 Mission Control) 功能，把窗口的缩略图（而不是事先绘制的图标）并排显示在桌面上， 方便用户挑选打开的窗口。

由于有了混成器的这种实现方式，使得可能把窗口渲染的图像做进一步加工，添加阴影、三维和动画效果。 这使得 Mac OS X 有了美轮美奂的动画效果和 Exposé 这样的方便易用的功能。 或许对于乔布斯而言，更重要的是因为有了混成器，窗口的形状终于能显示为他 梦寐以求 的 圆角矩形 了！

插曲：昙花一现的 Project Looking Glass 3D

在苹果那边刚刚开始使用混成器渲染窗口的 2003 年，昔日的 Sun Microsystems 升阳公司 则在 Linux 和 Solaris 上用 Java3D 作出了另一个炫酷到没有朋友的东西，被他们命名为 Project Looking Glass 3D （缩写LG3D，别和 Google 的 Project Glass 混淆呀）。这个项目的炫酷实在难以用言语描述， 好在还能找到两段视频展示它的效果。



LG3D

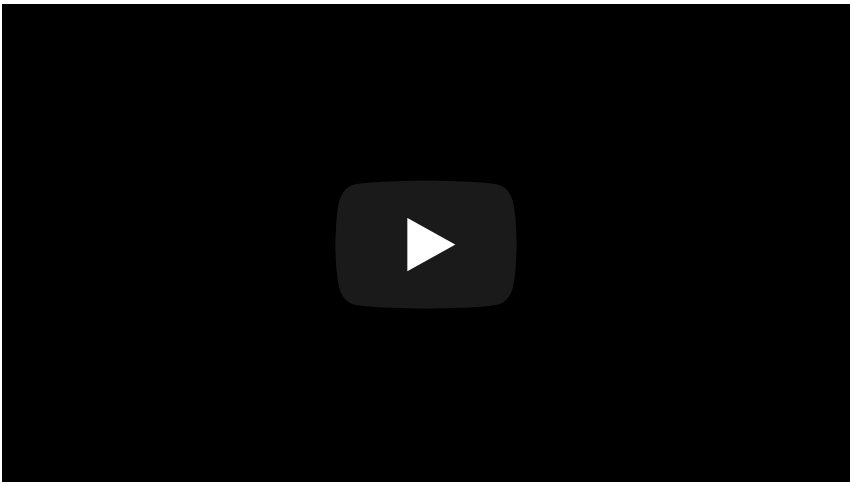
如视频中展示的那样， LG3D 完全突破了传统的栈式窗口管理方式， 在三维空间中操纵二维的窗口平面，不仅像传统的窗口管理器那样可以缩放和移动窗口， 还能够旋转角度甚至翻转到背面去。从视频中难以体会到的一点是， LG3D 在实现方式上与 Mac OS X 中的混成器有一个本质上的不同，那就是处于（静止或动画中）缩放或旋转状态 下的窗口是 **可以接受输入事件** 的。这一重要区别在后面 Wayland 的说明中还会提到。 LG3D 项目展示了窗口管理器将如何突破传统的栈式管理的框架，可以说代表了窗口管理器的未来发展趋势。

LG3D 虽然以 GPL 放出了实现的源代码，不过整个项目已经停滞开发许久了。 官方曾经放出过一个 预览版的 LiveCD 。可惜时隔久远（12年前了）在我的 VirtualBox 上已经不能跑起来这个 LiveCD 了……

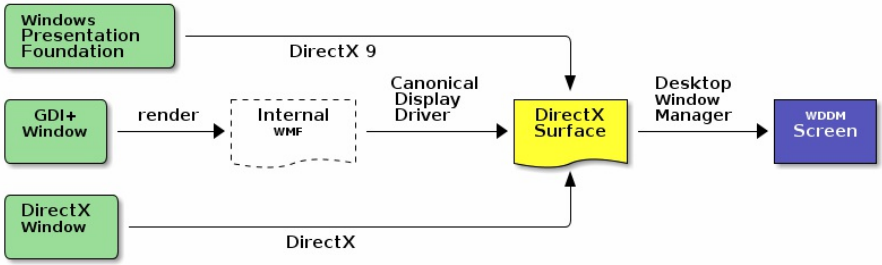
更为可惜的是，就在这个项目刚刚公开展示出来的时候，乔布斯就致电升阳， 说如果继续商业化这个产品，升阳公司将涉嫌侵犯苹果的知识产权 （时间顺序上来看，苹果最初展示 Exposé 是在 2003年6月23日的 Apple Worldwide Developers Conference ，而升阳最初展示 LG3D 是在 2003年8月5日的 LinuxWorld Expo）。 虽然和乔布斯的指控无关，升阳公司本身的业务也着重于服务器端的业务， 后来随着升阳的财政困难，这个项目也就停止开发并不了了之了。

Windows 中的混成器

Longhorn 中的 Wobbly 效果



上面说到， Windows 系列中到 XP 为止都还没有使用混成器绘制窗口。 看着 Mac OS X 上有了美轮美奂的动画效果， Windows 这边自然不甘示弱。 于是同样在 2003 年展示的 Project Longhorn 中就演示了 wobbly 效果的窗口， 并且跳票推迟多年之后的 Windows Vista 中实现了完整的混成器 Desktop Window Manager (DWM) 。整个 DWM 的架构和 Mac OS X 上看到的很像：



和 Mac OS X 的情况类似， Windows Vista 之后的应用程序有两套主要的绘图库，一套是从早期 Win32API 就沿用至今的 GDI（以及GDI+），另一套是随着 Longhorn 计划开发出的 WPF 。 WPF 的所有用户界面控件都绘制在 DirectX 贴图上，所以使用了 WPF 的程序也可以看作是 DirectX 程序。而对老旧的 GDI 程序而言，它们并不是直接绘制到 DirectX 贴图的。首先每一个 GDI 的绘图操作都对应一条 Windows Metafile (WMF) 记录，所以 WMF 就可以看作是 Mac OS X 的 Quartz 内部用的 PDF 或者 NeXTSTEP 内部用的 DPS，它们都是矢量图描述。随后，这些 WMF 绘图操作被通过一个 Canonical Display Driver (cdd.dll) 的内部组建转换到 DirectX 平

面，并且保存起来交给 DWM。最后， DWM 拿到来自 CDD 或者 DirectX 的平面，把它们混合起来绘制在屏幕上。

值得注意的细节是，WPF 底层的绘图库几乎肯定有 C/C++ 绑定对应， Windows 自带的不少应用程序 和 Office 2007 用了 Ribbon 之后的版本都采用这套绘图引擎，不过微软没有公开这套绘图库的 C/C++ 实现的底层细节，而只能通过 .Net 框架的 WPF 访问它。这一点和 OS X 上只能通过 Objective-C 下的 Cocoa API 调用 Quartz 的情况类似。

另外需要注意的细节是 DirectX 的单窗口限制在 Windows Vista 之后被放开了，或者严格的说是 基于 WDDM 规范下的显卡驱动支持了多个 DirectX 绘图平面。 在早期的 Windows 包括 XP 上，整个桌面上同一时刻只能有一个程序的窗口处于 DirectX 的 **直接绘制** 模式，而别的窗口如果想用 DirectX 的话，要么必须改用软件渲染要么就不能工作。 这种现象可以通过打开多个播放器或者窗口化的游戏界面观察到。 而在 WDDM 规范的 Vista 中，所有窗口最终都绘制到 DirectX 平面上，换句话说每个窗口都是 DirectX 窗口。又或者我们可以认为，整个界面上只有一个真正的窗口也就是 DWM 绘制的全屏窗口， 只有 DWM 处于 DirectX 的直接渲染模式下，而别的窗口都输出到 DirectX 平面里（可能通过了硬件加速）。

由 DWM 的这种实现方式，可以解释为什么 窗口模式下的游戏总是显得比较慢 ，原因是整个桌面有很多不同的窗口都需要 DWM 最后混成，而如果在全屏模式下，

只有游戏 处于 DirectX 的直接渲染方式，从而不会浪费对游戏而言宝贵的 GPU 资源。

由于 DWM 实现了混成器，使得 Vista 和随后的 Windows 7 有了 Aero Glass 的界面风格， 有了 Flip 3D 、Aero Peek 等等的这些辅助功能和动画效果。 这套渲染方式延续到 Windows 8 之后，虽然 Windows 8 还提出了 Modern UI 不过传统桌面上的渲染仍旧是依靠混成器来做的。

这就结束了？ Linux 桌面呢？

别急，我写这些文章的目的是想聊聊 Linux 中的混成器，尤其是 X 下现有的混成器和 Wayland ，这篇文章只是个背景介绍。关于 X 中混成器的实现方式和限制，且听我下回分解。