桌面系統的混成器簡史

目錄

（原本是想寫篇關於 Wayland 的文章，後來越寫越長感覺能形成一個系列， 於是就先把這篇背景介紹性質的部分發出來了。）

Linux 系統上要迎來 Wayland 了，或許大家能從各種渠道打聽到 Wayland 是一個混成器，替代 X 作爲顯示服務器。 那麼 **混成器** 是個什麼東西，桌面系統爲什麼需要它呢？ 要理解爲什麼桌面系統需要 **混成器**（或者它的另一個叫法， 混成窗口管理器 Compositing Window Manager），在這篇文章中我想回顧一下歷史， 瞭解一下混成器出現的前因後果。

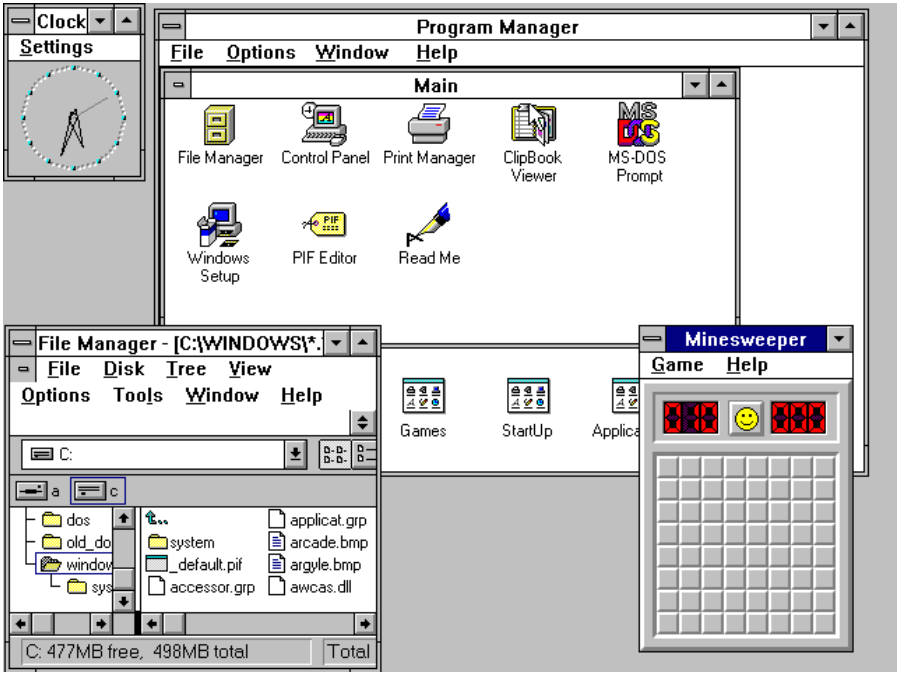
首先介紹一下混成器出現前主要的一類窗口管理器，也就是

Stacking Window Manager
棧式窗口管理器 的實現方式。

本文中所有桌面截圖來自維基百科，不具有著作權保護。

早期的棧式窗口管理器

棧式窗口管理器的例子，Windows 3.11 的桌面



我們知道最初圖形界面的應用程序是全屏的，獨佔整個顯示器（現在很多遊戲機和手持設備的實現仍舊如此）。 所有程序都全屏並且任何時刻只能看到一個程序的輸出，這個限制顯然不能滿足人們使用計算機的需求， 於是就有了 窗口 的概念，有了 桌面隱喻 。

Desktop Metaphor

在 桌面隱喻 中每個窗口只佔用顯示面積的一小部分， 有其顯示的位置和大小，可以互相遮蓋。於是棧式窗口管理器就是在圖形界面中實現桌

面隱喻的核心功能， 其實現方式大體就是：給每個窗口一個相對的“高度”或者說“遠近”，比較高的窗口顯得距離用戶比較近， 會覆蓋其下比較低的窗口。繪圖的時候窗口管理器會從把窗口按高低排序，按照從低到高的順序使用 畫家算法 繪製整個屏幕。

這裏還要補充一點說明，在當時圖形界面的概念剛剛普及的時候，繪圖操作是非常“昂貴”的。 可以想象一下 800x600 像素的顯示器輸出下，每幀 真彩色 位圖就要佔掉 800 \times 600 \times 3 \approx 1.4 \text{MiB} 的內存大小，30Hz 的刷新率（也就是30FPS）下每秒從 CPU 傳往繪圖設備的數據單單位圖就需要 1.4 \times 30 = 41 \text{MiB} 的帶寬。對比一下當時的 VESA 接口 總的數據傳輸能力也就是 25 \text{MHz} \times 32 \text{bits} = 100 \text{MiB/s} 左右， 而 Windows 3.1 的最低內存需求是 1MB，對當時的硬件而言無論是顯示設備、內存或是CPU，這無疑都是一個龐大的負擔。

於是在當時的硬件條件下採用棧式窗口管理器有一個巨大 **優勢** ：如果正確地採用畫家算法， 並且合理地控制重繪時 **只繪製沒有被別的窗口覆蓋的部分** ，那麼無論有多少窗口互相 遮蓋，都可以保證每次繪製屏幕的最大面積不會超過整個顯示器的面積。 同樣因爲實現方式棧式窗口管理器也有一些難以迴避的 **限制** ：

1. 窗口必須是矩形的，不能支持不規則形狀的窗口。
2. 不支持透明或者半透明的顏色。
3. 爲了優化效率，在縮放窗口和移動窗口的過程中，窗口的內容不會得到重繪請求， 必須等到縮放或者移動命令結束之後窗口纔會重繪。

以上這些限制在早期的 X11 窗口管理器比如 twm 以及 XP 之前經典主題的 Windows 或者經典的 Mac OS 上都能看到。 在這些早期的窗口環境中，如果你拖動或者縮放一個窗口，那麼將顯示變化後的窗口邊界，這些用來預覽的邊界用快速的位圖反轉方式繪製。當你放開鼠標的時候纔會觸發窗口的 重繪事件。 雖然有很多方法或者說技巧能繞過這些限制，比如 Windows XP 上就支持了實時的 重繪事件和不規則形狀的窗口剪裁，不過這些技巧都是一連串的 hack ，難以擴展。

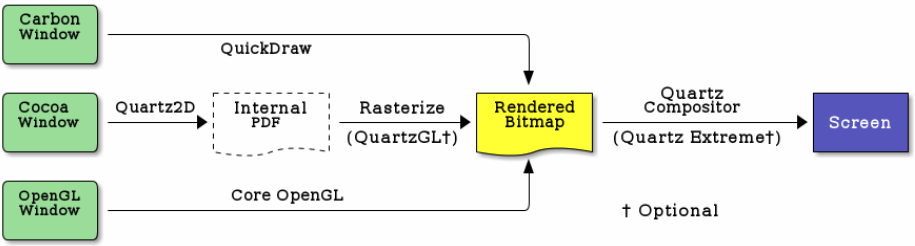
NeXTSTEP 與 Mac OS X 中混成器的發展

NeXTSTEP 桌面

轉眼進入了千禧年， Windows 稱霸了 PC 產業，蘋果爲重振 Macintosh 請回了 Jobs 基於 NeXTSTEP 開發 Mac OSX 。

NeXTSTEP 在當時提供的 GUI 界面技術相比較於同年代的 X 和 Windows 有一個很特別的地方： 拖動滾動條或者移動窗口的時候，窗口的內容是 **實時更新** 的，這比只顯示一個縮放大小的框框來說被認爲更直觀。 而實現這個特性的基礎是在 NeXTSTEP 中運用了 Display PostScript (DPS) 技術，簡單地說，就是每個窗口並非直接輸出到顯示設備，而是把內容輸出到 (Display) PostScript 格式交給窗口管理器，然後窗口管理器再在需要的時候把 PostScript 用軟件解釋器解釋成位圖顯示在屏幕上。

比起讓窗口直接繪製，這種方案在滾動和移動窗口的時候不需要重新渲染保存好的 DPS， 所以能實現實時渲染。到了實現 Mac OS X 的時候，爲了同時兼容老的 Mac 程序 API (carbon) 以及更快的渲染速度，以及考慮到 Adobe 對蘋果收取的高昂的 Display PostScript 授權費， Mac OS X 的 Quartz 技術在矢量圖的 PDF 描述模型和最終渲染之間又插入了一層抽象：



Mission Control

也就是說在 Mac OS X 中無論窗口用何種方式繪圖，都會繪製輸出成一副內存中的位圖交給混成器， 而後者再在需要的時候將位圖混成在屏幕上。這種設計使得 2001年3月發佈的 Mac OS X v10.0 成爲了第一個廣泛使用的具有軟件混成器的操作系統。

到了 Mac OS X v10.2 的時候，蘋果又引入了 Quartz Extreme 讓最後的混成渲染這一步發生在 顯卡上。然後在 2003年1月公開亮相的 Mac OS X v10.3 中，他們公佈了 Exposé (後來改名爲 Mission Control) 功能，把窗口的縮略圖（而不是事先繪製的圖標）並排顯示在桌面上， 方便用戶挑選打開的窗口。

由於有了混成器的這種實現方式，使得可能把窗口渲染的圖像做進一步加工，添加陰影、三維和動畫效果。 這使得 Mac OS X 有了美輪美奐的動畫效果和 Exposé 這樣的方便易用的功能。 或許對於喬布斯而言，更重要的是因爲有了混成器，窗口的形狀終於能顯示爲他 夢寐以求 的 圓角矩形 了！

插曲：曇花一現的 Project Looking Glass 3D

在蘋果那邊剛剛開始使用混成器渲染窗口的 2003 年，昔日的 Sun Microsystems 昇陽公司 則在 Linux 和 Solaris 上用 Java3D 作出了另一個炫酷到沒有朋友的東西，被他們命名爲 Project Looking Glass 3D （縮寫LG3D，別和 Google 的 Project Glass 混淆呀）。這個項目的炫酷實在難以用言語描述， 好在還能找到兩段視頻展示它的效果。

LG3D

如視頻中展示的那樣， LG3D 完全突破了傳統的棧式窗口管理方式，在三維空間中操縱二維的窗口平面，不僅像傳統的窗口管理器那樣可以縮放和移動窗口， 還能夠旋轉角度甚至翻轉到背面去。從視頻中難以體會到的一點是， LG3D 在實現方式上與 Mac OS X 中的混成器有一個本質上的不同，那就是處於（靜止或動畫中）縮放或旋轉狀態 下的窗口是 **可以接受輸入事件** 的。這一重要區別在後面 Wayland 的說明中還會提到。LG3D 項目展示了窗口管理器將如何突破傳統的棧式管理的框架，可以說代表了窗口管理器的未來發展趨勢。

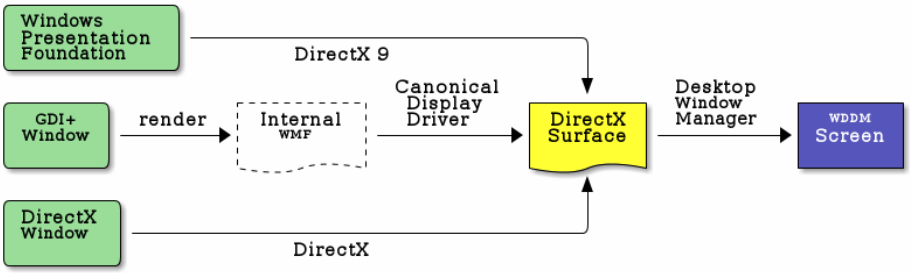
LG3D 雖然以 GPL 放出了實現的源代碼，不過整個項目已經停滯開發許久了。 官方曾經放出過一個 預覽版的 LiveCD 。可惜時隔久遠（12年前了）在我的 VirtualBox 上已經不能跑起來這個 LiveCD 了……

更爲可惜的是，就在這個項目剛剛公開展示出來的時候，喬布斯就致電昇陽， 說如果繼續商業化這個產品，昇陽公司將涉嫌侵犯蘋果的知識產權 （時間順序上來看，蘋果最初展示 Exposé 是在 2003年6月23日的 Apple Worldwide Developers Conference ，而昇陽最初展示 LG3D 是在 2003年8月5日的 LinuxWorld Expo）。 雖然和喬布斯的指控無關，昇陽公司本身的業務也着重於服務器端的業務， 後來隨着昇陽的財政困難，這個項目也就停止開發並不了了之了。

Windows 中的混成器

Longhorn 中的 Wobbly 效果

上面說到， Windows 系列中到 XP 爲止都還沒有使用混成器繪製窗口。 看着 Mac OS X 上有了美輪美奐的動畫效果， Windows 這邊自然不甘示弱。 於是同樣在 2003 年展示的 Project Longhorn 中就演示了 wobbly 效果的窗口， 並且跳票推遲多年之後的 Windows Vista 中實現了完整的混成器 Desktop Window Manager (DWM) 。整個 DWM 的架構和 Mac OS X 上看到的很像：



和 Mac OS X 的情況類似， Windows Vista 之後的應用程序有兩套主要的繪圖庫，一套是從早期 Win32API 就沿用至今的 GDI（以及 GDI+），另一套是隨着 Longhorn 計劃開發出的 WPF 。 WPF 的所有用戶界面控件都繪製在 DirectX 貼圖上，所以使用了 WPF 的程序也可以看作是 DirectX 程序。而對老舊的 GDI 程序而言，它們並不是直接繪製到 DirectX 貼圖的。首先每一個 GDI 的繪圖操作都對應一條 Windows Metafile (WMF) 記錄，所以 WMF 就可以看作是 Mac OS X 的 Quartz 內部用的 PDF 或者 NeXTSTEP 內部用的 DPS，它們都是矢量圖描述。隨後，這些 WMF 繪圖操作被通過一個 Canonical Display Driver (cdd.dll) 的內部組建轉換到 DirectX 平面，並且保存起來交給 DWM。最後， DWM 拿到來自 CDD 或者 DirectX 的平面，把它們混合起來繪製在屏幕上。

值得注意的細節是，WPF 底層的繪圖庫幾乎肯定有 C/C++ 綁定對應， Windows 自帶的不少應用程序 和 Office 2007 用了 Ribbon 之後的版本都採用這套繪圖引擎，不過微軟沒有公開這套繪圖庫的 C/C++ 實現的底層細節，而只能通過 .Net 框架的 WPF 訪問它。這一點和 OS X 上只能通過 Objective-C 下的 Cocoa API 調用 Quartz 的情況類似。

另外需要注意的細節是 DirectX 的單窗口限制在 Windows Vista 之後被放開了，或者嚴格的說是 基於 WDDM 規範下的顯卡驅動支持了多個 DirectX 繪圖平面。 在早期的 Windows 包括 XP 上，整個桌面上同一時刻只能有一個程序的窗口處於 DirectX 的 **直接繪製** 模式，而別的窗口如果想用 DirectX 的話，要麼必須改用軟件渲染要麼就不能工作。 這種現象可以通過打開多個播放器或者窗口化的遊戲界面觀察到。 而在 WDDM 規範的 Vista 中，所有窗口最終都繪製到 DirectX 平面上，換句話說每個窗口都是 DirectX 窗口。又或者我們可以認爲，整個界面上只有一個真正的窗口也就是 DWM 繪製的全屏窗口， 只有 DWM 處於 DirectX 的直接渲染模式下，而別的窗口都輸出到 DirectX 平面裏（可能通過了硬件加速）。

由 DWM 的這種實現方式，可以解釋爲什麼 窗口模式下的遊戲總是顯得比較慢 ，原因是整個桌面有很多不同的窗口都需要 DWM 最後混成，而如果在全屏模式下，只有遊戲 處於 DirectX 的直接渲染方式，從而不會浪費對遊戲而言寶貴的 GPU 資源。

由於 DWM 實現了混成器，使得 Vista 和隨後的 Windows 7 有了 Aero Glass 的界面風格， 有了 Flip 3D 、Aero Peek 等等的這些輔助功能和動畫效果。 這套渲染方式延續到 Windows 8 之後，雖然 Windows 8 還提出了 Modern UI 不過傳統桌面上的渲染仍舊是依靠混成器來做的。

這就結束了？ Linux 桌面呢？

別急，我寫這些文章的目的是想聊聊 Linux 中的混成器，尤其是 X 下現有的混成器和 Wayland ，這篇文章只是個背景介紹。關於 X 中混成器的實現方式和限制，且聽我下回分解。