## 桌面系統的混成器 簡史 <sup>②</sup>

#### 目錄

#### Contents

- 早期的棧式窗口管理器
- NeXTSTEP 與 Mac OS X 中混成器的發展
- 插曲:曇花一現的 Project Looking Glass 3D
- Windows 中的混成器
- 這就結束了? Linux 桌面呢?

(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Compositing Window Manager

另一個叫法, 混成窗口管理器 ),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。

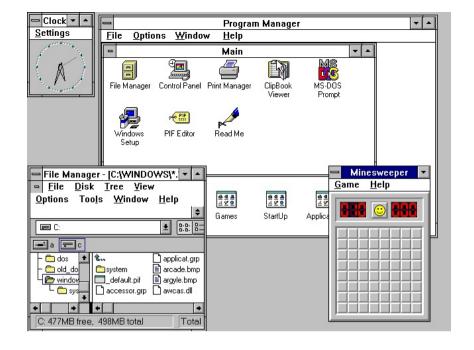
首先介紹一下混成器出現前主要的一類窗口管理 Stacking Window Manager

器,也就是 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。
- 為了優化效率,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

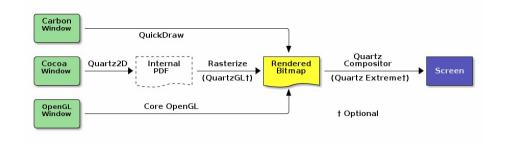


轉眼進入了千禧年, Windows 稱霸了 PC 產業,蘋果爲重振 Macintosh 請回了 Jobs 基於 NeXTSTEP 開發 Mac OSX 。

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為更直觀。 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 成為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 (後來改名為 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 Sun Microsystems

年,昔日的 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



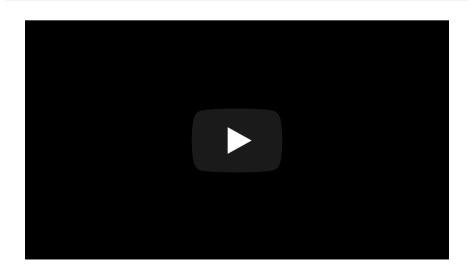
如視頻中展示的那樣,LG3D完全突破了傳統的棧式窗口管理方式,在三維空間中操縱二維的窗口平面,不僅像傳統的窗口管理器那樣可以縮放和移動窗口,還能夠旋轉角度甚至翻轉到背面去。從視頻中難以體會到的一點是,LG3D在實現方式上與Mac OS X 中的混成器有一個本質上的不同,那就是處於(靜止或動畫中)縮放或旋轉狀態下的窗口是**可以接受輸入事件**的。這一重要區別在後面Wayland的說明中還會提到。LG3D項目展示了窗口管理器將如何突破傳統的棧式管理的框架,可以說代表了窗口管理器的未來發展趨勢。

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……

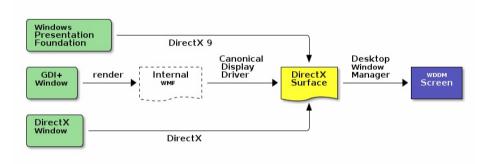
更爲可惜的是,就在這個項目剛剛公開展示出來的時候,喬布斯就致電昇陽,說如果繼續商業化這個產品,昇陽公司將涉嫌侵犯蘋果的知識產權(時間順序上來看,蘋果最初展示 Exposé 是在 2003年6月23日的Apple Worldwide Developers Conference,而昇陽最初展示 LG3D 是在 2003年8月5日的 LinuxWorld Expo)。雖然和喬布斯的指控無關,昇陽公司本身的業務也着重於服務器端的業務,後來隨着昇陽的財政困難,這個項目也就停止開發並不了了之了。

## Windows 中的混成器

Longhorn 中的 Wobbly 效果



上面說到,Windows 系列中到 XP 為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。