

C++內存管理 101 – 從最基礎到最繁複

課程簡介

內存 (memory, 臺灣術語稱為“記憶體”) 是電腦中的“腦”嗎？CPU 才是腦，CPU 才是計算機的三魂六魄。但若沒有內存，一切只存在於虛無縹緲間，等同於不存在。

內存曾經是最寶貴也最昂貴的週邊資源，現代程序員無法想像 DOS 時代對內存的錙銖必較。

俱往矣，且看今朝。我們(似乎)有用不完的便宜內存。但表象之下是操作系統和標準庫做了大量工作。而如果你開發內存高耗軟件，或處於內存受限環境下 (例如嵌入式系統)，就有必要深刻了解操作系統和標準庫為你所做的內存管理，甚至需要自行管理內存。

本課程分為六講：

第一講：Primitives

C++語言中與內存相關的所有基礎構件 (constructs)，包括 malloc/free, new/delete, operator new/operator delete, placement new/placement delete，我將探討它們的意義、運用方式和重載方式。並以此開發一個極小型內存池 (memory pool)。

第二講：std::allocator

標準庫的興起，意味我們可以擺脫內存管理的繁複瑣屑，直接使用容器。但是容器背後的分配器(allocator)攸關容器的速度效能和空間效能。我將比較 Visual C++, Borland C++, GNU C++標準庫中的 allocator，並深入探索其中最精巧的 GNU C++ allocator 的設計。

第三講：malloc/free

malloc/free 是所有內存管理手段的最後一哩；通過它才和操作系統搭上線。當然你也可以直接調用 system API，但不建議。因此理解 malloc/free 的內部管理至為重要。我將以 Visual C++ 的 CRT (C RunTime Library)所帶的 malloc/free 源代碼為基礎，深度探索這最基礎最關鍵的內存分配與釋放函數。

第四講：loki::allocator

即使知名如 GNU C++ pool allocator，也有其小缺陷。Loki (一套作風前沿的程序庫) 的 allocator 設計精簡功能完整幾無缺點，很值得我們深究。

第五講：其他主題

除了 `std::allocator`，GNU C++ 還帶不少 allocators，它們不是標準庫的一部分，可視為標準庫的擴充。我將探討這些擴充的 allocator，特別是 `bitmap allocator`。

我們談的不只是應用，還深入設計原理與實現手法。在理解了這麼多底層 (Windows Heap, CRT malloc/free, C++ new/delete, C++ allocators) 之後，也許你終於恍然大悟，再不需要自行管理內存了；或也許你終於有能力想像，該在何處以何種方式加強內存管理。

你將獲得整個 video 課程的完整講義 (也就是 video 呈現的每一張投影片畫面)，和一個完整程序包括代碼文件 `.cpp` 和可執行文件 `.exe`。你可以在視聽過程中隨時停格仔細閱讀講義，細細咀嚼我所繪製的各種示意圖和源代碼之間的流動路線——這的確很需要時間和腦力，卻能令你腦洞大開。

侯捷簡介：程序員，軟件工程師，臺灣工研院副研究員，教授。曾任教於中壢元智大學、上海同濟大學、南京大學。著有《無責任書評》三卷、《深入淺出 MFC》、《STL 源碼剖析》...，譯有《Effective C++》《More Effective C++》《C++ Primer》《The C++ Standard Library》...。

以下這份不算太細緻的主題劃分，協助您認識整個課程內容，以及在視聽過程中正確翻找講義。內中的編號就是講義的頁碼。

內存管理 101 – 從最基礎到最複雜

主題劃分

第一講：C++ 內存構件

Overview 1-10

內存分配的每一層面 11

四個基本層面的用法 12-14

基本構件之一 `new/delete expressions` 15-17

基本構件之二 `array new/delete` 18-21

基本構件之三 `placement new/delete` 22

基本構件之分配流程 23-24

基本構件之重載 25-34

Per-class allocator 第一版本 35-36

Per-class allocator 第二版本 37-38

Common static allocator (第三版本) 39-41
Macro allocator (第四版本) 42-43
GNU C++ allocator (第五版本) 樣貌 44
雜項討論 45-48

第二講：`std::allocator`

內存塊佈局 52
VC6 allocator 53
BC5 allocator 54
GNU allocator 55-60
GNU allocator 行為剖析 61-76
GNU allocator 源碼剖析 77-87
GNU allocator 檢討 88-89
GNU allocator 監視 90-91
GNU allocator 移植到 C 語言 92

第三講：`malloc/free`

VC6 和 VC10 的 `malloc` 比較 96-97
Small Block Heap (SBH) 初始化 98-99
SBH 行為分析 – 區塊大小之計算 100-104
SBH 行為分析 – 數據結構 105-107
SBH 行為分析 – 分配之詳細圖解 108
SBH 行為分析 – 分配+釋放之連續動作圖解 109-115
SBH 檢討 116-122

第四講：`Loki::allocator`

上中下三個 classes 分析 127
`Loki::allocator` 行為圖解 128-134
class `Chunk` 分析 135-137
class `FixedAllocator` 分析 138-140
`Loki::allocator` 檢討 141

第五講：`Other Issues`

GNU C++ 對 allocators 的描述 144-149
VS2013 標準分配器與 `new_allocator` 150
G4.9 標準分配器與 `new_allocator` 151
G4.9 `malloc_allocator` 152
G4.9 `array_allocator` 153-155

G4.9 debug_allocator 156
G4.9 _pool_alloc 157-159
G4.9 bitmap_allocator 160-170
G4.9 使用 G4.9 分配器 171-172

-- the end

