

Extending and Embedding Python

發  3.9.12

Guido van Rossum
and the Python development team

5 月 17, 2022

Python Software Foundation
Email: docs@python.org

1	推薦的第三方工具	3
2	不使用第三方工具建立擴充	5
2.1	以 C 或 C++ 擴充 Python	5
2.1.1	一个简单的例子	5
2.1.2	关于错误和异常	6
2.1.3	回到例子	8
2.1.4	模块方法表和初始化函数	9
2.1.5	编译和链接	10
2.1.6	在 C 中调用 Python 函数	11
2.1.7	提取扩展函数的参数	12
2.1.8	给扩展函数的关键字参数	14
2.1.9	构造任意值	15
2.1.10	引用计数	15
2.1.11	在 C++ 中编写扩展	18
2.1.12	给扩展模块提供 C API	18
2.2	自定义扩展类型：教程	21
2.2.1	基础	21
2.2.2	Adding data and methods to the Basic example	25
2.2.3	Providing finer control over data attributes	31
2.2.4	Supporting cyclic garbage collection	36
2.2.5	Subclassing other types	41
2.3	定义扩展类型：已分类主题	44
2.3.1	终结和内存释放	46
2.3.2	对象展示	47
2.3.3	属性管理	47
2.3.4	Object Comparison	50
2.3.5	Abstract Protocol Support	50
2.3.6	Weak Reference Support	52
2.3.7	更多建议	53
2.4	构建 C/C++ 扩展	53
2.4.1	使用 distutils 构建 C 和 C++ 扩展	54
2.4.2	发布你的扩展模块	55
2.5	在 Windows 上构建 C 和 C++ 扩展	55
2.5.1	菜谱式说明	55
2.5.2	Unix 和 Windows 之间的差异	56
2.5.3	DLL 的实际使用	56
3	在更大的應用程式中嵌入 CPython 運行環境 (runtime)	57
3.1	在其它 App 中嵌入 Python	57
3.1.1	高层次的嵌入	58

3.1.2	突破高层次嵌入的限制：概述	58
3.1.3	纯嵌入	59
3.1.4	对嵌入 Python 功能进行扩展	61
3.1.5	在 C++ 中嵌入 Python	62
3.1.6	在类 Unix 系统中编译和链接	62
A	術語表	63
B	關於這些☐明文件	77
B.1	Python 文件的貢獻者們	77
C	沿革與授權	79
C.1	軟體沿革	79
C.2	關於存取或以其他方式使用 Python 的合約條款	80
C.2.1	用於 PYTHON 3.9.12 的 PSF 授權合約	80
C.2.2	用於 PYTHON 2.0 的 BEOPEN.COM 授權合約	81
C.2.3	用於 PYTHON 1.6.1 的 CNRI 授權合約	82
C.2.4	用於 PYTHON 0.9.0 至 1.2 的 CWI 授權合約	83
C.2.5	用於 PYTHON 3.9.12 ☐明文件☐程式碼的 ZERO-CLAUSE BSD 授權	83
C.3	被收☐軟體的授權與致謝	84
C.3.1	Mersenne Twister	84
C.3.2	Sockets	85
C.3.3	非同步 socket 服務	85
C.3.4	Cookie 管理	86
C.3.5	執行追☐	86
C.3.6	UUencode 與 UUdecode 函式	87
C.3.7	XML 遠端程序呼叫	87
C.3.8	test_epoll	88
C.3.9	Select kqueue	88
C.3.10	SipHash24	89
C.3.11	strtod 與 dtoa	89
C.3.12	OpenSSL	90
C.3.13	expat	92
C.3.14	libffi	92
C.3.15	zlib	93
C.3.16	cfuhash	93
C.3.17	libmpdec	94
C.3.18	W3C C14N 測試套件	94
D	版權宣告	97
	索引	99

這份說明文件描述如何在 C 或 C++ 中編寫模組，使用新模組來擴充 Python 直譯器功能。那些模組不僅可以定義新的函式，也可以定義新的物件型及其方法 (method)。文件內容也會描述如何將 Python 直譯器嵌入另一個應用程式中，做一種擴充語言 (extension language) 使用。最後，它會展示如何編譯及連結擴充模組，使那些模組可以動態地（在運行時）被載入到直譯器中，前提是底層作業系統有支援這個功能。

這份說明文件假設您具備 Python 的基礎知識。關於此語言的非正式介紹，請參 [tutorial-index](#)。reference-index 給予此語言更正式的定義。library-index 記了賦予此語言廣泛應用範圍的物件型、函式與（建的和以 Python 編寫的）模組。

關於完整的 Python/C API 詳細介紹，請參另外一份 [c-api-index](#)。

推薦的第三方工具

這份指南僅涵蓋了此 CPython 版本所提供的、用以建立擴充的基本工具。第三方工具，例如 [Cython](#)、[cffi](#)、[SWIG](#) 和 [Numba](#)，提供了更簡單及更複雜的多種方法，來在 Python 建立 C 和 C++ 擴充。

也參考：

Python 封裝使用者指南：二進制擴充 Python 封裝使用者指南 (Python Packaging User Guide) 不僅涵蓋了數個可以用來簡化二進制擴充建立過程的工具，也會討論如何建立一個擴充模組可能會是您的優先考量。

不使用第三方工具建立擴充

本指南中的這一節將說明，在沒有第三方工具的協助下，如何建立 C 和 C++ 擴充。它主要是寫給使用那些工具的創作者們，而不是讓你建立自己的 C 擴充的推薦方法。

2.1 以 C 或 C++ 擴充 Python

如果你会用 C，添加新的 Python 内置模块会很简单。以下两件不能用 Python 直接做的事，可以通过 *extension modules* 来实现：实现新的内置对象类型；调用 C 的库函数和系统调用。

为了支持扩展，Python API（应用程序编程接口）定义了一系列函数、宏和变量，可以访问 Python 运行时系统的大部分内容。Python 的 API 可以通过在一个 C 源文件中引用 "Python.h" 头文件来使用。

扩展模块的编写方式取决与你的目的以及系统设置；下面章节会详细介绍。

備註： C 扩展接口特指 CPython，扩展模块无法在其他 Python 实现上工作。在大多数情况下，应该避免写 C 扩展，来保持可移植性。举个例子，如果你的用例调用了 C 库或系统调用，你应该考虑使用 `ctypes` 模块或 `ctypes` 库，而不是自己写 C 代码。这些模块允许你写 Python 代码来接口 C 代码，而且可移植性更好。不知为何编译失败了。

2.1.1 一个简单的例子

让我们创建一个扩展模块 `spam` (Monty Python 粉丝最喜欢的食物...) 并且想要创建对应 C 库函数 `system()`¹ 的 Python 接口。这个函数接受一个以 `null` 结尾的字符串参数并返回一个整数。我们希望在 Python 中以如下方式调用此函数：

```
>>> import spam
>>> status = spam.system("ls -l")
```

首先创建一个 `spammodule.c` 文件。（传统上，如果一个模块叫 `spam`，则对应实现它的 C 文件叫 `spammodule.c`；如果这个模块名字非常长，比如 `spammify`，则这个模块的文件可以直接叫 `spammify.c`。）

文件中开始的两行是：

¹ 这个函数的接口已经在标准模块 `os` 里了，这里作为一个简单而直接的例子。

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>
```

这会导入 Python API（如果你喜欢，你可以在这里添加描述模块目标和版权信息的注释）。

備註： 由于 Python 可能会定义一些影响某些系统上标准头文件的预处理器定义，因此在包含任何标准头文件之前，您 * 必须 * include 这个文件：Python.h。

推荐总是在 Python.h 前定义 PY_SSIZE_T_CLEAN。查看[提取扩展函数的参数](#)来了解这个宏的更多内容。

所有在 Python.h 中定义的用户可见的符号都具有 Py 或 PY 前缀，已在标准头文件中定义的那些除外。考虑到便利性，也由于其在 Python 解释器中被广泛使用，"Python.h" 还包含了一些标准头文件：<stdio.h>，<string.h>，<errno.h> 和 <stdlib.h>。如果后面的头文件在你的系统上不存在，它还会直接声明函数 malloc()，free() 和 realloc()。

下面要做的事是将 C 函数添加到我们的扩展模块，当 Python 表达式 spam.system(string) 被求值时函数将被调用（我们很快就会看到它最终是如何被调用的）：

```
static PyObject *
spam_system(PyObject *self, PyObject *args)
{
    const char *command;
    int sts;

    if (!PyArg_ParseTuple(args, "s", &command))
        return NULL;
    sts = system(command);
    return PyLong_FromLong(sts);
}
```

有个直接翻译参数列表的方法（例如单独的 "ls-l"）到要传递给 C 函数的参数。C 函数总是有两个参数，通常名字是 self 和 args。

对模块级函数，self 参数指向模块对象；对于方法则指向对象实例。

args 参数是指向一个 Python 的 tuple 对象的指针，其中包含参数。每个 tuple 项对应一个调用参数。这些参数也全都是 Python 对象 --- 要在我们的 C 函数中使用它们就需要先将其转换为 C 值。Python API 中的函数 PyArg_ParseTuple() 会检查参数类型并将其转换为 C 值。它使用模板字符串确定需要的参数类型以及存储被转换的值的 C 变量类型。细节将稍后说明。

PyArg_ParseTuple() 在所有参数都有正确类型且组成部分按顺序放在传递进来的地址里时，返回真（非零）。其在传入无效参数时返回假（零）。在后续例子里，还会抛出特定异常，使得调用的函数可以理解返回 NULL（也就是例子里所见）。

2.1.2 关于错误和异常

An important convention throughout the Python interpreter is the following: when a function fails, it should set an exception condition and return an error value (usually -1 or a NULL pointer). Exception information is stored in three members of the interpreter's thread state. These are NULL if there is no exception. Otherwise they are the C equivalents of the members of the Python tuple returned by sys.exc_info(). These are the exception type, exception instance, and a traceback object. It is important to know about them to understand how errors are passed around.

Python API 中定义了一些函数来设置这些变量。

最常用的就是 PyErr_SetString()。其参数是异常对象和 C 字符串。异常对象一般是像 PyExc_ZeroDivisionError 这样的预定义对象。C 字符串指明异常原因，并被转换为一个 Python 字符串对象存储为异常的“关联值”。

另一个有用的函数是 `PyErr_SetFromErrno()`，仅接受一个异常对象，异常描述包含在全局变量 `errno` 中。最通用的函数还是 `PyErr_SetObject()`，包含两个参数，分别为异常对象和异常描述。你不需要使用 `Py_INCREF()` 来增加传递到其他函数的参数对象的引用计数。

你可以通过 `PyErr_Occurred()` 在不造成破坏的情况下检测是否设置了异常。这将返回当前异常对象，或者如果未发生异常则返回 `NULL`。你通常不需要调用 `PyErr_Occurred()` 来查看函数调用中是否发生了错误，因为你应该能从返回值中看出来。

当一个函数 *f* 调用另一个函数 *g* 时检测到后者出错了，*f* 应当自己返回一个错误值（通常为 `NULL` 或 `-1`）。它不应该调用某个 `PyErr_*` 函数 --- 这类函数已经被 *g* 调用过了。*f* 的调用者随后也应当返回一个错误来提示它的调用者，同样不应该调用 `PyErr_*`，依此类推 --- 错误的最详细原因已经由首先检测到它的函数报告了。一旦这个错误到达 Python 解释器的主循环，它会中止当前执行的 Python 代码并尝试找出由 Python 程序员所指定的异常处理程序。

(在某些情况下，当模块确实能够通过调用其它 `PyErr_*` 函数给出更加详细的错误消息，并且在这些情况是可以这样做的。但是按照一般规则，这是不必要的，并可能导致有关错误原因的信息丢失：大多数操作会由于种种原因而失败。)

想要忽略由一个失败的函数调用所设置的异常，异常条件必须通过调用 `PyErr_Clear()` 显式地被清除。C 代码应当调用 `PyErr_Clear()` 的唯一情况是如果它不想将错误传给解释器而是想完全由自己来处理它（可能是尝试其他方法，或是假装没有出错）。

每次失败的 `malloc()` 调用必须转换为一个异常。`malloc()` (或 `realloc()`) 的直接调用者必须调用 `PyErr_NoMemory()` 来返回错误来提示。所有对象创建函数 (例如 `PyLong_FromLong()`) 已经这么做了，所以这个提示仅用于直接调用 `malloc()` 的情况。

还要注意的，除了 `PyArg_ParseTuple()` 等重要的例外，返回整数状态码的函数通常都是返回正值或零来表示成功，而以 `-1` 表示失败，如同 Unix 系统调用一样。

最后，当你返回一个错误指示器时要注意清理垃圾（通过为你已经创建的对象执行 `Py_XDECREF()` 或 `Py_DECREF()` 调用）！

选择引发哪个异常完全取决于你的喜好。所有内置的 Python 异常都有对应的预声明 C 对象，例如 `PyExc_ZeroDivisionError`，你可以直接使用它们。当然，你应当明智地选择异常 --- 不要使用 `PyExc_TypeError` 来表示一个文件无法被打开（那大概应该用 `PyExc_IOError`）。如果参数列表有问题，`PyArg_ParseTuple()` 函数通常会引发 `PyExc_TypeError`。如果你想要一个参数的值必须处于特定范围之内或必须满足其他条件，则适宜使用 `PyExc_ValueError`。

你也可以为你的模块定义一个唯一的新异常。需要在文件前部声明一个静态对象变量，如：

```
static PyObject *SpamError;
```

并且在你的模块的初始化函数 (`PyInit_spam()`) 中使用一个异常对象来初始化：

```
PyMODINIT_FUNC
PyInit_spam(void)
{
    PyObject *m;

    m = PyModule_Create(&spammodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;

    SpamError = PyErr_NewException("spam.error", NULL, NULL);
    Py_XINCREF(SpamError);
    if (PyModule_AddObject(m, "error", SpamError) < 0) {
        Py_XDECREF(SpamError);
        Py_CLEAR(SpamError);
        Py_DECREF(m);
        return NULL;
    }

    return m;
}
```

注意异常对象的 Python 名字是 `spam.error`。而 `PyErr_NewException()` 函数可以创建一个类，其基类为 `Exception` (除非是另一个类传入以替换 `NULL`)，细节参见 `bltin-exceptions`。

同样注意的是创建类保存了 `SpamError` 的一个引用，这是有意的。为了防止被垃圾回收掉，否则 `SpamError` 随时会成为野指针。

一会讨论 `PyMODINIT_FUNC` 作为函数返回类型的用法。

`spam.error` 异常可以在扩展模块中抛出，通过 `PyErr_SetString()` 函数调用，如下：

```
static PyObject *
spam_system(PyObject *self, PyObject *args)
{
    const char *command;
    int sts;

    if (!PyArg_ParseTuple(args, "s", &command))
        return NULL;
    sts = system(command);
    if (sts < 0) {
        PyErr_SetString(SpamError, "System command failed");
        return NULL;
    }
    return PyLong_FromLong(sts);
}
```

2.1.3 回到例子

回到前面的例子，你应该明白下面的代码：

```
if (!PyArg_ParseTuple(args, "s", &command))
    return NULL;
```

如果在参数列表中检测到错误，它将返回 `NULL` (该值是返回对象指针的函数所使用的错误提示)，这取决于 `PyArg_ParseTuple()` 设置的异常。在其他情况下参数的字符串值会被拷贝到局部变量 `command`。这是一个指针赋值并且你不应该修改它所指向的字符串 (因此在标准 C 中，变量 `command` 应当被正确地声明为 `const char *command`)。

下一个语句使用 UNIX 系统函数 `system()`，传递给他的参数是刚才从 `PyArg_ParseTuple()` 取出的：

```
sts = system(command);
```

我们的 `spam.system()` 函数必须返回 `sts` 的值作为 Python 对象。这通过使用函数 `PyLong_FromLong()` 来实现。

```
return PyLong_FromLong(sts);
```

在这种情况下，会返回一个整数对象，(这个对象会在 Python 堆里面管理)。

如果你的 C 函数没有有用的返回值 (返回 `void` 的函数)，则对应的 Python 函数必须返回 `None`。你必须使用这种写法 (可以通过 `Py_RETURN_NONE` 宏来实现)：

```
Py_INCREF(Py_None);
return Py_None;
```

`Py_None` 是特殊 Python 对象 `None` 所对应的 C 名称。它是一个真正的 Python 对象而不是 `NULL` 指针，如我们所见，后者在大多数上下文中都意味着“错误”。

2.1.4 模块方法表和初始化函数

为了展示 `spam_system()` 如何被 Python 程序调用。把函数声明为可以被 Python 调用，需要先定义一个方法表“method table”。

```
static PyMethodDef SpamMethods[] = {
    ...
    {"system", spam_system, METH_VARARGS,
     "Execute a shell command."},
    ...
    {NULL, NULL, 0, NULL}          /* Sentinel */
};
```

注意第三个参数 (`METH_VARARGS`)，这个标志指定会使用 C 的调用惯例。可选值有 `METH_VARARGS`、`METH_VARARGS | METH_KEYWORDS`。值 0 代表使用 `PyArg_ParseTuple()` 的陈旧变量。

如果单独使用 `METH_VARARGS`，函数会等待 Python 传来 tuple 格式的参数，并最终使用 `PyArg_ParseTuple()` 进行解析。

`METH_KEYWORDS` 值表示接受关键字参数。这种情况下 C 函数需要接受第三个 `PyObject *` 对象，表示字典参数，使用 `PyArg_ParseTupleAndKeywords()` 来解析出参数。

这个方法表必须被模块定义结构所引用。

```
static struct PyModuleDef spammodule = {
    PyModuleDef_HEAD_INIT,
    "spam", /* name of module */
    spam_doc, /* module documentation, may be NULL */
    -1, /* size of per-interpreter state of the module,
        or -1 if the module keeps state in global variables. */
    SpamMethods
};
```

这个结构体必须传递给解释器的模块初始化函数。初始化函数必须命名为 `PyInit_name()`，其中 *name* 是模块的名字，并应该定义为非 `static`，且在模块文件里：

```
PyMODINIT_FUNC
PyInit_spam(void)
{
    return PyModule_Create(&spammodule);
}
```

注意 `PyMODINIT_FUNC` 将函数声明为 `PyObject *` 返回类型，声明了任何平台所要求的特殊链接声明，并针对 C++ 将函数声明为 `extern "C"`。

当 Python 程序首次导入 `spam` 模块时，`PyInit_spam()` 会被调用。（有关嵌入 Python 的注释参见下文。）它将调用 `PyModule_Create()`，该函数会返回一个模块对象，并基于在模块定义中找到的表将内置函数对象插入到新创建的模块中（该表是一个 `PyMethodDef` 结构体的数组）。`PyModule_Create()` 返回一个指向它所创建的模块对象的指针。它可能会因程度严重的特定错误而中止，或者在模块无法成功初始化时返回 `NULL`。初始化函数必须返回模块对象给其调用者，这样它就可以被插入到 `sys.modules` 中。

当嵌入 Python 时，`PyInit_spam()` 函数不会被自动调用，除非放在 `PyImport_Inittab` 表里。要添加模块到初始化表，使用 `PyImport_AppendInittab()`，可选的跟着一个模块的导入。

```
int
main(int argc, char *argv[])
{
    wchar_t *program = Py_DecodeLocale(argv[0], NULL);
    if (program == NULL) {
        fprintf(stderr, "Fatal error: cannot decode argv[0]\n");
        exit(1);
    }
}
```

(下页继续)


```

/* Add a built-in module, before Py_Initialize */
if (PyImport_AppendInittab("spam", PyInit_spam) == -1) {
    fprintf(stderr, "Error: could not extend in-built modules table\n");
    exit(1);
}

/* Pass argv[0] to the Python interpreter */
Py_SetProgramName(program);

/* Initialize the Python interpreter. Required.
   If this step fails, it will be a fatal error. */
Py_Initialize();

/* Optionally import the module; alternatively,
   import can be deferred until the embedded script
   imports it. */
PyObject *pmodule = PyImport_ImportModule("spam");
if (!pmodule) {
    PyErr_Print();
    fprintf(stderr, "Error: could not import module 'spam'\n");
}

...

PyMem_RawFree(program);
return 0;
}

```

備註：要从 `sys.modules` 删除实体或导入已编译模块到一个进程里的多个解释器 (或使用 `fork()` 而没用 `exec()`) 会在一些扩展模块上产生错误。扩展模块作者可以在初始化内部数据结构时给出警告。

更多关于模块的现实的例子包含在 Python 源码包的 `Modules/xxmodule.c` 中。这些文件可以用作你的代码模板，或者学习。脚本 `modulator.py` 包含在源码发行版或 Windows 安装中，提供了一个简单的 GUI，用来声明需要实现的函数和对象，并且可以生成供填入的模板。脚本在 `Tools/modulator/` 目录。查看 `README` 以了解用法。

備註：不像我们的 `spam` 例子，`xxmodule` 使用了多阶段初始化 (Python3.5 开始引入)，`PyInit_spam` 会返回一个 `PyModuleDef` 结构体，然后创建的模块放到导入机制。细节参考 **PEP 489** 的多阶段初始化。

2.1.5 编译和链接

在你使用你的新写的扩展之前，你还需要做两件事情：使用 Python 系统来编译和链接。如果你使用动态加载，这取决于你使用的操作系统的动态加载机制；更多信息请参考编译扩展模块的章节（[构建 C/C++ 扩展](#) 章节），以及在 Windows 上编译需要的额外信息（[在 Windows 上构建 C 和 C++ 扩展](#) 章节）。

如果你不使用动态加载，或者想要让模块永久性的作为 Python 解释器的一部分，就必须修改配置设置，并重新构建解释器。幸运的是在 Unix 上很简单，只需要把你的文件（`spammodule.c` 为例）放在解压缩源码发行包的 `Modules/` 目录下，添加一行到 `Modules/Setup.local` 来描述你的文件：

```
spam spammodule.o
```

然后在顶层目录运行 **make** 来重新构建解释器。你也可以在 `Modules/` 子目录使用 **make**，但是你必须先重建 `Makefile` 文件，然后运行 **'make Makefile'** 命令。（你每次修改 `Setup` 文件都需要这样操作。）

如果你的模块需要额外的链接，这些内容可以列出在配置文件里，举个实例：

```
spam spammodule.o -lX11
```

2.1.6 在 C 中调用 Python 函数

迄今为止，我们一直把注意力集中于让 Python 调用 C 函数，其实反过来也很有用，就是用 C 调用 Python 函数。这在回调函数中尤其有用。如果一个 C 接口使用回调，那么就要实现这个回调机制。

幸运的是，Python 解释器是比较方便回调的，并给标准 Python 函数提供了标准接口。(这里就不再详述解析 Python 代码作为输入的方式，如果有兴趣可以参考 Python/pythonmain.c 中的 -c 命令代码。)

调用 Python 函数，首先 Python 程序要传递 Python 函数对象。应该提供个函数(或其他接口)来实现。当调用这个函数时，用全局变量保存 Python 函数对象的指针，还要调用 (Py_INCREF()) 来增加引用计数，当然不用全局变量也没什么关系。例如如下：

```
static PyObject *my_callback = NULL;

static PyObject *
my_set_callback(PyObject *dummy, PyObject *args)
{
    PyObject *result = NULL;
    PyObject *temp;

    if (PyArg_ParseTuple(args, "O:set_callback", &temp)) {
        if (!PyCallable_Check(temp)) {
            PyErr_SetString(PyExc_TypeError, "parameter must be callable");
            return NULL;
        }
        Py_XINCREf(temp);          /* Add a reference to new callback */
        Py_XDECREF(my_callback);  /* Dispose of previous callback */
        my_callback = temp;       /* Remember new callback */
        /* Boilerplate to return "None" */
        Py_INCREF(Py_None);
        result = Py_None;
    }
    return result;
}
```

这个函数必须使用 METH_VARARGS 标志注册到解释器，这在模块方法表和初始化函数 章节会描述。PyArg_ParseTuple() 函数及其参数的文档在提取扩展函数的参数。

Py_XINCREf() 和 Py_XDECREF() 这两个宏可增加/减少一个对象的引用计数，并且当存在 NULL 指针时仍可保证安全(但请注意在这个上下文中 temp 将不为 NULL)。更多相关信息请参考引用计数 章节。

随后，当要调用此函数时，你将调用 C 函数 PyObject_CallObject()。该函数有两个参数，它们都属于指针，指向任意 Python 对象：即 Python 函数，及其参数列表。参数列表必须总是一个元组对象，其长度即参数的个数。要不带参数地调用 Python 函数，则传入 NULL 或一个空元组；要带一个参数调用它，则传入一个单元组。Py_BuildValue() 会在其格式字符串包含一对圆括号内的零个或多个格式代码时返回一个元组。例如：

```
int arg;
PyObject *arglist;
PyObject *result;
...
arg = 123;
...
/* Time to call the callback */
arglist = Py_BuildValue("(i)", arg);
result = PyObject_CallObject(my_callback, arglist);
Py_DECREF(arglist);
```

`PyObject_CallObject()` 返回 Python 对象指针，这也是 Python 函数的返回值。`PyObject_CallObject()` 是一个对其参数“引用计数无关”的函数。例子中新的元组创建用于参数列表，并且在 `PyObject_CallObject()` 之后立即使用了 `Py_DECREF()`。

`PyEval_CallObject()` 的返回值总是“新”的：要么是一个新建的对象；要么是已有对象，但增加了引用计数。所以除非你想把结果保存在全局变量中，你需要对这个值使用 `Py_DECREF()`，即使你对里面的内容（特别！）不感兴趣。

但是在你这么做之前，很重要的一点是检查返回值不是 `NULL`。如果是的话，Python 函数会终止并引发异常。如果调用 `PyObject_CallObject()` 的 C 代码是在 Python 中发起调用的，它应当立即返回一个错误来告知其 Python 调用者，以便解释器能打印栈回溯信息，或者让调用方 Python 代码能处理该异常。如果这无法做到或不合本意，则应当通过调用 `PyErr_Clear()` 来清除异常。例如：

```
if (result == NULL)
    return NULL; /* Pass error back */
...use result...
Py_DECREF(result);
```

依赖于具体的回调函数，你还要提供一个参数列表到 `PyEval_CallObject()`。在某些情况下参数列表是由 Python 程序提供的，通过接口再传到回调函数。这样就可以不改变形式直接传递。另外一些时候你要构造一个新的 tuple 来传递参数。最简单的方法就是 `Py_BuildValue()` 函数构造 tuple。例如，你要传递一个事件对象时可以用：

```
PyObject *arglist;
...
arglist = Py_BuildValue("(l)", eventcode);
result = PyObject_CallObject(my_callback, arglist);
Py_DECREF(arglist);
if (result == NULL)
    return NULL; /* Pass error back */
/* Here maybe use the result */
Py_DECREF(result);
```

注意 `Py_DECREF(arglist)` 所在处会立即调用，在错误检查之前。当然还要注意一些常规的错误，比如 `Py_BuildValue()` 可能会遭遇内存不足等等。

你还需要注意，用关键字参数调用 `PyObject_Call()`，需要支持普通参数和关键字参数。有如如上例子中，我们使用 `Py_BuildValue()` 来构造字典。

```
PyObject *dict;
...
dict = Py_BuildValue("{s:i}", "name", val);
result = PyObject_Call(my_callback, NULL, dict);
Py_DECREF(dict);
if (result == NULL)
    return NULL; /* Pass error back */
/* Here maybe use the result */
Py_DECREF(result);
```

2.1.7 提取扩展函数的参数

函数 `PyArg_ParseTuple()` 的声明如下：

```
int PyArg_ParseTuple(PyObject *arg, const char *format, ...);
```

参数 `arg` 必须是一个元组对象，包含从 Python 传递给 C 函数的参数列表。`format` 参数必须是一个格式字符串，语法请参考 Python C/API 手册中的 `arg-parsing`。剩余参数是各个变量的地址，类型要与格式字符串对应。

注意 `PyArg_ParseTuple()` 会检测他需要的 Python 参数类型，却无法检测传递给他的 C 变量地址，如果这里出错了，可能会在内存中随机写入东西，小心。

注意任何由调用者提供的 Python 对象引用是 借来的引用；不要递减它们的引用计数！

一些调用的例子：

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN /* Make "s#" use Py_ssize_t rather than int. */
#include <Python.h>
```

```
int ok;
int i, j;
long k, l;
const char *s;
Py_ssize_t size;

ok = PyArg_ParseTuple(args, ""); /* No arguments */
/* Python call: f() */
```

```
ok = PyArg_ParseTuple(args, "s", &s); /* A string */
/* Possible Python call: f('whoops!') */
```

```
ok = PyArg_ParseTuple(args, "lls", &k, &l, &s); /* Two longs and a string */
/* Possible Python call: f(1, 2, 'three') */
```

```
ok = PyArg_ParseTuple(args, "(ii)s#", &i, &j, &s, &size);
/* A pair of ints and a string, whose size is also returned */
/* Possible Python call: f((1, 2), 'three') */
```

```
{
    const char *file;
    const char *mode = "r";
    int bufsize = 0;
    ok = PyArg_ParseTuple(args, "s|si", &file, &mode, &bufsize);
    /* A string, and optionally another string and an integer */
    /* Possible Python calls:
       f('spam')
       f('spam', 'w')
       f('spam', 'wb', 100000) */
}
```

```
{
    int left, top, right, bottom, h, v;
    ok = PyArg_ParseTuple(args, "((ii)(ii))(ii)",
        &left, &top, &right, &bottom, &h, &v);
    /* A rectangle and a point */
    /* Possible Python call:
       f(((0, 0), (400, 300)), (10, 10)) */
}
```

```
{
    Py_complex c;
    ok = PyArg_ParseTuple(args, "D:myfunction", &c);
    /* a complex, also providing a function name for errors */
    /* Possible Python call: myfunction(1+2j) */
}
```

2.1.8 给扩展函数的关键字参数

函数 `PyArg_ParseTupleAndKeywords()` 声明如下:

```
int PyArg_ParseTupleAndKeywords(PyObject *arg, PyObject *kwdict,
                                const char *format, char *kwlist[], ...);
```

arg 与 *format* 形参与 `PyArg_ParseTuple()` 函数所定义的一致。*kwdict* 形参是作为第三个参数从 Python 运行时接收的关键字典。*kwlist* 形参是以 NULL 结尾的字符串列表, 它被用来标识形参; 名称从左至右与来自 *format* 的类型信息相匹配。如果执行成功, `PyArg_ParseTupleAndKeywords()` 会返回真值, 否则返回假值并引发一个适当的异常。

備註: 嵌套的元组在使用关键字参数时无法生效, 不在 *kwlist* 中的关键字参数会导致 `TypeError` 异常。

如下是使用关键字参数的例子模块, 作者是 Geoff Philbrick (phibrick@hks.com):

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN /* Make "s#" use Py_ssize_t rather than int. */
#include <Python.h>

static PyObject *
keywdarg_parrot(PyObject *self, PyObject *args, PyObject *keywds)
{
    int voltage;
    const char *state = "a stiff";
    const char *action = "voom";
    const char *type = "Norwegian Blue";

    static char *kwlist[] = {"voltage", "state", "action", "type", NULL};

    if (!PyArg_ParseTupleAndKeywords(args, keywds, "i|sss", kwlist,
                                     &voltage, &state, &action, &type))
        return NULL;

    printf("-- This parrot wouldn't %s if you put %i Volts through it.\n",
           action, voltage);
    printf("-- Lovely plumage, the %s -- It's %s!\n", type, state);

    Py_RETURN_NONE;
}

static PyMethodDef keywdarg_methods[] = {
    /* The cast of the function is necessary since PyCFunction values
     * only take two PyObject* parameters, and keywdarg_parrot() takes
     * three.
     */
    {"parrot", (PyCFunction)(void(*) (void))keywdarg_parrot, METH_VARARGS | METH_
↪KEYWORDS,
     "Print a lovely skit to standard output."},
    {NULL, NULL, 0, NULL} /* sentinel */
};

static struct PyModuleDef keywdargmodule = {
    PyModuleDef_HEAD_INIT,
    "keywdarg",
    NULL,
    -1,
    keywdarg_methods
};

PyMODINIT_FUNC
```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```
PyInit_keywarg(void)
{
    return PyModule_Create(&keywargmodule);
}
```

2.1.9 构造任意值

这个函数与 `PyArg_ParseTuple()` 很相似，声明如下：

```
PyObject *Py_BuildValue(const char *format, ...);
```

接受一个格式字符串，与 `PyArg_ParseTuple()` 相同，但是参数必须是原变量的地址指针（输入给函数，而非输出）。最终返回一个 Python 对象适合于返回 C 函数调用给 Python 代码。

一个与 `PyArg_ParseTuple()` 的不同是，后面可能需要的要求返回一个元组（Python 参数里该包总是在内部描述为元组），比如用于传递给其他 Python 函数以参数。`Py_BuildValue()` 并不总是生成元组，在多于 1 个参数时会生成元组，而如果没有参数则返回 `None`，一个参数则直接返回该参数的对象。如果要求强制生成一个长度为空的元组，或包含一个元素的元组，需要在格式字符串中加上括号。

例子（左侧是调用，右侧是 Python 值结果）：

<code>Py_BuildValue("")</code>	<code>None</code>
<code>Py_BuildValue("i", 123)</code>	<code>123</code>
<code>Py_BuildValue("iii", 123, 456, 789)</code>	<code>(123, 456, 789)</code>
<code>Py_BuildValue("s", "hello")</code>	<code>'hello'</code>
<code>Py_BuildValue("y", "hello")</code>	<code>b'hello'</code>
<code>Py_BuildValue("ss", "hello", "world")</code>	<code>('hello', 'world')</code>
<code>Py_BuildValue("s#", "hello", 4)</code>	<code>'hell'</code>
<code>Py_BuildValue("y#", "hello", 4)</code>	<code>b'hell'</code>
<code>Py_BuildValue("()")</code>	<code>()</code>
<code>Py_BuildValue("(i)", 123)</code>	<code>(123,)</code>
<code>Py_BuildValue("(ii)", 123, 456)</code>	<code>(123, 456)</code>
<code>Py_BuildValue("(i,i)", 123, 456)</code>	<code>(123, 456)</code>
<code>Py_BuildValue("[i,i]", 123, 456)</code>	<code>[123, 456]</code>
<code>Py_BuildValue("{s:i,s:i}", "abc", 123, "def", 456)</code>	<code>{'abc': 123, 'def': 456}</code>
<code>Py_BuildValue("((ii)(ii))(ii)", 1, 2, 3, 4, 5, 6)</code>	<code>((1, 2), (3, 4)), (5, 6)</code>

2.1.10 引用计数

在 C/C++ 语言中，程序员负责动态分配和回收堆 (heap) 当中的内存。在 C 里，通过函数 `malloc()` 和 `free()` 来完成。在 C++ 里是操作 `new` 和 `delete` 来实现相同的功能。

每个由 `malloc()` 分配的内存块，最终都要由 `free()` 退回到可用内存池里面去。而调用 `free()` 的时机非常重要，如果一个内存块忘了 `free()` 则会导致内存泄漏，这块内存存在程序结束前将无法重新使用。这叫做内存泄漏。而如果对同一内存块 `free()` 了以后，另外一个指针再次访问，则再次使用 `malloc()` 复用这块内存会导致冲突。这叫做野指针。等同于使用未初始化的数据，core dump，错误结果，神秘的崩溃等。

内存泄露往往发生在一些并不常见的代码流程上面。比如一个函数申请了内存以后，做了些计算，然后释放内存块。现在一些对函数的修改可能增加对计算的测试并检测错误条件，然后过早的从函数返回了。这很容易忘记在退出前释放内存，特别是后期修改的代码。这种内存泄漏，一旦引入，通常很长时间都难以检测到，错误退出被调用的频度较低，而现代电脑又有非常巨大的虚拟内存，所以泄漏仅在长期运行或频繁调用泄漏函数时才会变得明显。因此，有必要避免内存泄漏，通过代码规范会策略来最小化此类错误。

Python 通过 `malloc()` 和 `free()` 包含大量的内存分配和释放，同样需要避免内存泄漏和野指针。他选择的方法就是引用计数。其原理比较简单：每个对象都包含一个计数器，计数器的增减与对象引用的增减直接相关，当引用计数为 0 时，表示对象已经没有存在的意义了，对象就可以删除了。

另一个叫法是自动垃圾回收。(有时引用计数也被看作是垃圾回收策略，于是这里的“自动”用以区分两者)。自动垃圾回收的优点是用户不需要明确的调用 `free()`。(另一个优点是改善速度或内存使用，然而这并不难)。缺点是对 C，没有可移植的自动垃圾回收器，而引用计数则可以可移植的实现(只要 `malloc()` 和 `free()` 函数是可用的，这也是 C 标准担保的)。也许以后有一天会出现可移植的自动垃圾回收器，但在此前我们必须与引用计数一起工作。

Python 使用传统的引用计数实现，也提供了循环监测器，用以检测引用循环。这使得应用无需担心直接或间接的创建了循环引用，这是引用计数垃圾收集的一个弱点。引用循环是对象(可能直接)的引用了本身，所以循环中的每个对象的引用计数都不是 0。典型的引用计数实现无法回收处于引用循环中的对象，或者被循环所引用的对象，哪怕没有循环以外的引用了。

循环探测器可以检测垃圾循环并回收。`gc` 模块提供了方法运行探测器(`collect()` 函数)，而且可以在运行时配置禁用探测器。循环探测器被当作可选组件，默认是包含的，也可以在构建时禁用，在 Unix 平台(包括 Mac OS X)使用 `--without-cycle-gc` 选项到 `configure` 脚本。如果循环探测器被禁用，`gc` 模块就不可用了。

Python 中的引用计数

有两个宏 `Py_INCREF(x)` 和 `Py_DECREF(x)`，会处理引用计数的增减。`Py_DECREF()` 也会在引用计数到达 0 时释放对象。为了灵活，并不会直接调用 `free()`，而是通过对象的类型对象的函数指针来调用。为了这个目的(或其他的)，每个对象同时包含一个指向自身类型对象的指针。

最大的问题依旧：何时使用 `Py_INCREF(x)` 和 `Py_DECREF(x)`？我们首先引入一些概念。没有人“拥有”一个对象，你可以拥有一个引用到一个对象。一个对象的引用计数定义为拥有引用的数量。引用的所有者有责任调用 `Py_DECREF()`，在引用不再需要时。引用的拥有关系可以被传递。有三种办法来处置拥有的引用：传递、存储、调用 `Py_DECREF()`。忘记处置一个拥有的引用会导致内存泄漏。

还可以借用²一个对象的引用。借用的引用不应该调用 `Py_DECREF()`。借用者必须确保不能持有对象超过所有者借出的时间。在所有者处置对象后使用借用的引用是有风险的，应该完全避免³。

借用相对于引用的优点是你无需担心整条路径上代码的引用，或者说，通过借用你无需担心内存泄漏的风险。借用的缺点是一些看起来正确代码上的借用可能会在所有者处置后使用对象。

借用可以变为拥有引用，通过调用 `Py_INCREF()`。这不会影响已经借出的拥有者的状态。这会创建一个新的拥有引用，并给予完全的拥有者责任(新的拥有者必须恰当的处置引用，就像之前的拥有者那样)。

拥有规则

当一个对象引用传递进出一个函数时，函数的接口应该指定拥有关系的传递是否包含引用。

大多数函数返回一个对象的引用，并传递引用拥有关系。通常，所有创建对象的函数，例如 `PyLong_FromLong()` 和 `Py_BuildValue()`，会传递拥有关系给接收者。即便是对象不是真正新的，你仍然可以获得对象的新引用。一个实例是 `PyLong_FromLong()` 维护了一个流行值的缓存，并可以返回已缓存项目的新引用。

很多另一个对象提取对象的函数，也会传递引用关系，例如 `PyObject_GetAttrString()`。这里的情况不够清晰，一些不太常用的例程是例外的 `PyTuple_GetItem()`，`PyList_GetItem()`，`PyDict_GetItem()`，`PyDict_GetItemString()` 都是返回从元组、列表、字典里借用的引用。

函数 `PyImport_AddModule()` 也会返回借用的引用，哪怕可能会返回创建的对象：这个可能因为一个拥有的引用对象是存储在 `sys.modules` 里。

当你传递一个对象引用到另一个函数时，通常函数是借用出去的。如果需要存储，就使用 `Py_INCREF()` 来变成独立的拥有者。这个规则有两个重要的例外：`PyTuple_SetItem()` 和 `PyList_SetItem()`。这些函数接受传递来的引用关系，哪怕会失败！(注意 `PyDict_SetItem()` 及其同类不会接受引用关系，他们是“正常的”)。

² 术语“借用”一个引用是不完全正确的：拥有者仍然有引用的拷贝。

³ 检查引用计数至少为 1 没有用，引用计数本身可以在已经释放的内存里，并有可能被其他对象所用。

当一个 C 函数被 Python 调用时，会从调用方传来的参数借用引用。调用者拥有对象的引用，所以借用的引用生命周期可以保证到函数返回。只要当借用的引用需要存储或传递时，就必须转换为拥有的引用，通过调用 `Py_INCREF()`。

Python 调用从 C 函数返回的对象引用时必须是拥有的引用---拥有关系被从函数传递给调用者。

危险的薄冰

有少数情况下，借用的引用看起来无害，但却可能导致问题。这通常是因为解释器的隐式调用，并可能导致引用拥有者处置这个引用。

首先需要特别注意的情况是使用 `Py_DECREF()` 到一个无关对象，而这个对象的引用是借用自一个列表的元素。举个实例：

```
void
bug(PyObject *list)
{
    PyObject *item = PyList_GetItem(list, 0);

    PyList_SetItem(list, 1, PyLong_FromLong(0L));
    PyObject_Print(item, stdout, 0); /* BUG! */
}
```

这个函数首先借用一个引用 `list[0]`，然后替换 `list[1]` 为值 0，最后打印借用的引用。看起来无害是吧，但却不是。

我们跟着控制流进入 `PyList_SetItem()`。列表拥有者引用了其所有成员，所以当成员 1 被替换时，就必须处置原来的成员 1。现在假设原来的成员 1 是用户定义类的实例，且假设这个类定义了 `__del__()` 方法。如果这个类实例的引用计数是 1，那么处置动作就会调用 `__del__()` 方法。

既然是 Python 写的，`__del__()` 方法可以执行任意 Python 代码。是否可能在 `bug()` 的 `item` 废止引用呢，是的。假设列表传递到 `bug()` 会被 `__del__()` 方法所访问，就可以执行一个语句来实现 `del list[0]`，然后假设这是最后一个对对象的引用，就需要释放内存，从而使得 `item` 无效化。

解决方法是，当你知道了问题的根源，就容易了：临时增加引用计数。正确版本的函数代码如下：

```
void
no_bug(PyObject *list)
{
    PyObject *item = PyList_GetItem(list, 0);

    Py_INCREF(item);
    PyList_SetItem(list, 1, PyLong_FromLong(0L));
    PyObject_Print(item, stdout, 0);
    Py_DECREF(item);
}
```

这是个真实的故事。一个旧版本的 Python 包含了这个 bug 的变种，而一些人花费了大量时间在 C 调试器上去寻找为什么 `__del__()` 方法会失败。

这个问题的第二种情况是借用的引用涉及线程的变种。通常，Python 解释器里多个线程无法进入对方的路径，因为有个全局锁保护着 Python 整个对象空间。但可以使用宏 `Py_BEGIN_ALLOW_THREADS` 来临时释放这个锁，重新获取锁用 `Py_END_ALLOW_THREADS`。这通常围绕在阻塞 I/O 调用外，使得其他线程可以在等待 I/O 期间使用处理器。显然，如下函数会跟之前那个有一样的问题：

```
void
bug(PyObject *list)
{
    PyObject *item = PyList_GetItem(list, 0);
    Py_BEGIN_ALLOW_THREADS
    ...some blocking I/O call...
    Py_END_ALLOW_THREADS
```

(下页继续)


```
PyObject_Print(item, stdout, 0); /* BUG! */
}
```

NULL 指针

通常，接受对象引用作为参数的函数不希望你传给它们 NULL 指针，并且当你这样做时将会转储核心（或在以后导致核心转储）。返回对象引用的函数通常只在要指明发生了异常时才返回 NULL。不检测 NULL 参数的原因在于这些函数经常要将它们所接收的对象传给其他函数 --- 如果每个函数都检测 NULL，将会导致大量的冗余检测而使代码运行得更缓慢。

更好的做法是仅在“源头”上检测 NULL，即在接收到一个可能为 NULL 的指针，例如来自 `malloc()` 或是一个可能引发异常的函数的时候。

`Py_INCREF()` 和 `Py_DECREF()` 等宏不会检测 NULL 指针 --- 但是，它们的变种 `Py_XINCREF()` 和 `Py_XDECREF()` 则会检测。

用于检测特定对象类型的宏 (`Pytype_Check()`) 不会检测 NULL 指针 --- 同样地，有大量代码会连续调用这些宏来测试一个对象是否为几种不同预期类型之一，这将会生成冗余的测试。不存在带有 NULL 检测的变体。

C 函数调用机制会保证传给 C 函数的参数列表 (本示例中为 `args`) 绝不会为 NULL --- 实际上它会保证其总是为一个元组⁴。

任何时候将 NULL 指针“泄露”给 Python 用户都会是个严重的错误。

2.1.11 在 C++ 中编写扩展

还可以在 C++ 中编写扩展模块，只是有些限制。如果主程序 (Python 解释器) 是使用 C 编译器来编译和链接的，全局或静态对象的构造器就不能使用。而如果是 C++ 编译器来链接的就没有这个问题。函数会被 Python 解释器调用 (通常就是模块初始化函数) 必须声明为 `extern "C"`。而是否在 `extern "C" {...}` 里包含 Python 头文件则不是那么重要，因为如果定义了符号 `__cplusplus` 则已经是这么声明的了 (所有现代 C++ 编译器都会定义这个符号)。

2.1.12 给扩展模块提供 C API

很多扩展模块提供了新的函数和类型供 Python 使用，但有时扩展模块里的代码也可以被其他扩展模块使用。例如，一个扩展模块可以实现一个类型“collection”看起来是没有顺序的。就像是 Python 列表类型，拥有 C API 允许扩展模块来创建和维护列表，这个新的集合类型可以有一堆 C 函数用于给其他扩展模块直接使用。

开始看起来很简单：只需要编写函数 (无需声明为 `static`)，提供恰当的头文件，以及 C API 的文档。实际上在所有扩展模块都是静态链接到 Python 解释器时也是可以正常工作的。当模块以共享库链接时，一个模块中的符号定义对另一个模块不可见。可见的细节依赖于操作系统，一些系统的 Python 解释器使用全局命名空间 (例如 Windows)，有些则在链接时需要一个严格的已导入符号列表 (一个例子是 AIX)，或者提供可选的不同策略 (如 Unix 系列)。即便是符号是全局可见的，你要调用的模块也可能尚未加载。

可移植性需要不能对符号可见性做任何假设。这意味着扩展模块里的所有符号都应该声明为 `static`，除了模块的初始化函数，来避免与其他扩展模块的命名冲突 (在段落 [模块方法表](#) 和 [初始化函数](#) 中讨论)。这意味着符号应该必须通过其他导出方式来供其他扩展模块访问。

Python 提供了一个特别的机制来传递 C 级别信息 (指针)，从一个扩展模块到另一个：Capsules。一个 Capsule 是一个 Python 数据类型，会保存指针 (`void *`)。Capsule 只能通过其 C API 来创建和访问，但可以像其他 Python 对象一样的传递。通常，我们可以指定一个扩展模块命名空间的名字。其他扩展模块可以导入这个模块，获取这个名字的值，然后从 Capsule 获取指针。

⁴ 当你使用“旧式”风格调用约定时，这些保证不成立，尽管这依旧存在于很多旧代码中。

Capsule 可以用多种方式导出 C API 给扩展模块。每个函数可以用自己的 Capsule，或者所有 C API 指针可以存储在一个数组里，数组地址再发布给 Capsule。存储和获取指针也可以用多种方式，供客户端模块使用。

无论你选择哪个方法，正确地为你的 Capsule 命名都很重要。函数 PyCapsule_New() 接受一个名称形参 (const char *); 允许你传入一个 NULL 作为名称，但我们强烈建议你指定一个名称。正确地命名的 Capsule 提供了一定程序的运行时类型安全；没有可行的方式能区分两个未命名的 Capsule。

通常来说，Capsule 用于暴露 C API，其名字应该遵循如下规范：

```
modulename.attributename
```

便利函数 PyCapsule_Import() 可以方便的载入通过 Capsule 提供的 C API，仅在 Capsule 的名字匹配时。这个行为为 C API 用户提供了高度的确定性来载入正确的 C API。

如下例子展示了将大部分负担交由导出模块作者的方法，适用于常用的库模块。它会存储所有 C API 指针 (例子里只有一个) 在 void 指针的数组里，并使其值变为 Capsule。对应的模块头文件提供了宏来管理导入模块和获取 C API 指针；客户端模块只需要在访问 C API 前调用这个宏即可。

导出的模块修改自 spam 模块，来自一个简单的例子段落。函数 spam.system() 不会直接调用 C 库函数 system()，但一个函数 PySpam_System() 会负责调用，当然现实中会更复杂些 (例如添加“spam”到每个命令)。函数 PySpam_System() 也会导出给其他扩展模块。

函数 PySpam_System() 是个纯 C 函数，声明 static 就像其他地方那样：

```
static int
PySpam_System(const char *command)
{
    return system(command);
}
```

函数 spam_system() 按照如下方式修改：

```
static PyObject *
spam_system(PyObject *self, PyObject *args)
{
    const char *command;
    int sts;

    if (!PyArg_ParseTuple(args, "s", &command))
        return NULL;
    sts = PySpam_System(command);
    return PyLong_FromLong(sts);
}
```

在模块开头，在此行后：

```
#include <Python.h>
```

添加另外两行：

```
#define SPAM_MODULE
#include "spammodule.h"
```

#define 用于告知头文件需要包含给导出的模块，而不是客户端模块。最终，模块的初始化函数必须负责初始化 C API 指针数组：

```
PyMODINIT_FUNC
PyInit_spam(void)
{
    PyObject *m;
    static void *PySpam_API[PySpam_API_pointers];
    PyObject *c_api_object;
```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```

m = PyModule_Create(&spammodule);
if (m == NULL)
    return NULL;

/* Initialize the C API pointer array */
PySpam_API[PySpam_System_NUM] = (void *)PySpam_System;

/* Create a Capsule containing the API pointer array's address */
c_api_object = PyCapsule_New((void *)PySpam_API, "spam._C_API", NULL);

if (PyModule_AddObject(m, "_C_API", c_api_object) < 0) {
    Py_XDECREF(c_api_object);
    Py_DECREF(m);
    return NULL;
}

return m;
}

```

注意 PySpam_API 声明为 static；此外指针数组会在 PyInit_spam() 结束后消失！

头文件 spammodule.h 里的一堆工作，看起来如下所示：

```

#ifndef Py_SPAMMODULE_H
#define Py_SPAMMODULE_H
#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif

/* Header file for spammodule */

/* C API functions */
#define PySpam_System_NUM 0
#define PySpam_System_RETURN int
#define PySpam_System_PROTO (const char *command)

/* Total number of C API pointers */
#define PySpam_API_pointers 1

#ifdef SPAM_MODULE
/* This section is used when compiling spammodule.c */

static PySpam_System_RETURN PySpam_System PySpam_System_PROTO;

#else
/* This section is used in modules that use spammodule's API */

static void **PySpam_API;

#define PySpam_System \
    (*(PySpam_System_RETURN (*)(PySpam_System_PROTO)) PySpam_API[PySpam_System_NUM])

/* Return -1 on error, 0 on success.
 * PyCapsule_Import will set an exception if there's an error.
 */
static int
import_spam(void)
{
    PySpam_API = (void **)PyCapsule_Import("spam._C_API", 0);
}

```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```

    return (PySpam_API != NULL) ? 0 : -1;
}

#endif

#ifdef __cplusplus
}
#endif

#endif /* !defined(Py_SPAMMODULE_H) */

```

客户端模块必须在其初始化函数里按顺序调用函数 `import_spam()` (或其他宏) 才能访问函数 `PySpam_System()`。

```

PyMODINIT_FUNC
PyInit_client(void)
{
    PyObject *m;

    m = PyModule_Create(&clientmodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;
    if (import_spam() < 0)
        return NULL;
    /* additional initialization can happen here */
    return m;
}

```

这种方法的主要缺点是，文件 `spammodule.h` 过于复杂。当然，对每个要导出的函数，基本结构是相似的，所以只需要学习一次。

最后需要提醒的是 `Capsule` 提供了额外的功能，用于存储在 `Capsule` 里的指针的内存分配和释放。细节参考 `Python/C API 参考手册` 的章节 `capsules` 和 `Capsule` 的实现 (在 `Python` 源码发行包的 `Include/pycapsule.h` 和 `Objects/pycapsule.c`)。

解

2.2 自定义扩展类型：教程

`Python` 允许编写 `C` 扩展模块定义可以从 `Python` 代码中操纵的新类型，这很像内置的 `str` 和 `list` 类型。所有扩展类型的代码都遵循一个模式，但是在您开始之前，您需要了解一些细节。这份文件是对这个主题介绍。

2.2.1 基础

`CPython` 运行时将所有 `Python` 对象都视为类型 `PyObject*` 的变量，即所有 `Python` 对象的“基础类型”。`PyObject` 结构体本身包含了对对象的 *reference count* 和对对象的“类型对象”。类型对象确定解释器需要调用哪些 (C) 函数，例如一个属性查询一个对象，一个方法调用，或者与另一个对象相乘。这些 `C` 函数被称为“类型方法”。

所以，如果你想要定义新的扩展类型，需要创建新的类型对象。

这类事情只能用例子解释，这里用一个最小化但完整的模块，定义了新的类型叫做 `Custom` 在 `C` 扩展模块 `custom` 里。

備註：这里展示的方法是定义 *static* 扩展类型的传统方法。可以适合大部分用途。`C API` 也可以定义在堆

上分配的扩展类型，使用 `PyType_FromSpec()` 函数，但不在本入门里讨论。

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>

typedef struct {
    PyObject_HEAD
    /* Type-specific fields go here. */
} CustomObject;

static PyTypeObject CustomType = {
    PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
    .tp_name = "custom.Custom",
    .tp_doc = PyDoc_STR("Custom objects"),
    .tp_basicsize = sizeof(CustomObject),
    .tp_itemsize = 0,
    .tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT,
    .tp_new = PyType_GenericNew,
};

static PyModuleDef custommodule = {
    PyModuleDef_HEAD_INIT,
    .m_name = "custom",
    .m_doc = "Example module that creates an extension type.",
    .m_size = -1,
};

PyMODINIT_FUNC
PyInit_custom(void)
{
    PyObject *m;
    if (PyType_Ready(&CustomType) < 0)
        return NULL;

    m = PyModule_Create(&custommodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;

    Py_INCREF(&CustomType);
    if (PyModule_AddObject(m, "Custom", (PyObject *) &CustomType) < 0) {
        Py_DECREF(&CustomType);
        Py_DECREF(m);
        return NULL;
    }

    return m;
}
```

这部分很容易理解，这是为了跟上一章能对接上。这个文件定义了三件事：

1. Custom 类的对象 **object** 包含了：CustomObject 结构，这会为每个 Custom 实例分配一次。
2. Custom **type** 的行为：这是 CustomType 结构体，其定义了一堆标识和函数指针，会指向解释器里请求的操作。
3. 初始化 custom 模块：PyInit_custom 函数和对应的 custommodule 结构体。

结构的第一块是

```
typedef struct {
    PyObject_HEAD
} CustomObject;
```

This is what a Custom object will contain. `PyObject_HEAD` is mandatory at the start of each object struct and

defines a field called `ob_base` of type `PyObject`, containing a pointer to a type object and a reference count (these can be accessed using the macros `Py_TYPE` and `Py_REFCNT` respectively). The reason for the macro is to abstract away the layout and to enable additional fields in debug builds.

備註：注意在宏 `PyObject_HEAD` 后没有分号。意外添加分号会导致编译器提示出错。

当然，对象除了在 `PyObject_HEAD` 存储数据外，还有额外数据；例如，如下定义了标准的 Python 浮点数：

```
typedef struct {
    PyObject_HEAD
    double ob_fval;
} PyFloatObject;
```

第二个位是类型对象的定义：

```
static PyTypeObject CustomType = {
    PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
    .tp_name = "custom.Custom",
    .tp_doc = PyDoc_STR("Custom objects"),
    .tp_basicsize = sizeof(CustomObject),
    .tp_itemsize = 0,
    .tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT,
    .tp_new = PyType_GenericNew,
};
```

備註：推荐使用如上 C99 风格的初始化，以避免列出所有的 `PyTypeObject` 字段，其中很多是你不需要关心的，这样也可以避免关注字段的定义顺序。

在 `object.h` 中实际定义的 `PyTypeObject` 具有比如上定义更多的字段。剩余的字段会由 C 编译器用零来填充，通常的做法是不显式地指定它们，除非你确实需要它们。

我们先挑选一部分，每次一个字段：

```
PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
```

这一行是强制的样板，用以初始化如上提到的 `ob_base` 字段：

```
.tp_name = "custom.Custom",
```

我们的类型的名称。这将出现在我们的对象的默认文本表示形式和某些错误消息中，例如：

```
>>> "" + custom.Custom()
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: can only concatenate str (not "custom.Custom") to str
```

Note that the name is a dotted name that includes both the module name and the name of the type within the module. The module in this case is `custom` and the type is `Custom`, so we set the type name to `custom.Custom`. Using the real dotted import path is important to make your type compatible with the `pydoc` and `pickle` modules.

```
.tp_basicsize = sizeof(CustomObject),
.tp_itemsize = 0,
```

This is so that Python knows how much memory to allocate when creating new `Custom` instances. `tp_itemsize` is only used for variable-sized objects and should otherwise be zero.

備註：If you want your type to be subclassable from Python, and your type has the same `tp_basicsize` as its base type, you may have problems with multiple inheritance. A Python subclass of your type will have to list your

type first in its `__bases__`, or else it will not be able to call your type's `__new__()` method without getting an error. You can avoid this problem by ensuring that your type has a larger value for `tp_basicsize` than its base type does. Most of the time, this will be true anyway, because either your base type will be `object`, or else you will be adding data members to your base type, and therefore increasing its size.

We set the class flags to `Py_TPFLAGS_DEFAULT`.

```
.tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT,
```

All types should include this constant in their flags. It enables all of the members defined until at least Python 3.3. If you need further members, you will need to OR the corresponding flags.

We provide a doc string for the type in `tp_doc`.

```
.tp_doc = PyDoc_STR("Custom objects"),
```

To enable object creation, we have to provide a `tp_new` handler. This is the equivalent of the Python method `__new__()`, but has to be specified explicitly. In this case, we can just use the default implementation provided by the API function `PyType_GenericNew()`.

```
.tp_new = PyType_GenericNew,
```

Everything else in the file should be familiar, except for some code in `PyInit_custom()`:

```
if (PyType_Ready(&CustomType) < 0)
    return;
```

This initializes the `Custom` type, filling in a number of members to the appropriate default values, including `ob_type` that we initially set to `NULL`.

```
Py_INCREF(&CustomType);
if (PyModule_AddObject(m, "Custom", (PyObject *) &CustomType) < 0) {
    Py_DECREF(&CustomType);
    Py_DECREF(m);
    return NULL;
}
```

This adds the type to the module dictionary. This allows us to create `Custom` instances by calling the `Custom` class:

```
>>> import custom
>>> mycustom = custom.Custom()
```

That's it! All that remains is to build it; put the above code in a file called `custom.c` and:

```
from distutils.core import setup, Extension
setup(name="custom", version="1.0",
      ext_modules=[Extension("custom", ["custom.c"])])
```

in a file called `setup.py`; then typing

```
$ python setup.py build
```

at a shell should produce a file `custom.so` in a subdirectory; move to that directory and fire up Python --- you should be able to `import custom` and play around with `Custom` objects.

这并不难，对吗？

Of course, the current `Custom` type is pretty uninteresting. It has no data and doesn't do anything. It can't even be subclassed.

備註： While this documentation showcases the standard `distutils` module for building C extensions, it is recommended in real-world use cases to use the newer and better-maintained `setuptools` library. Documentation

on how to do this is out of scope for this document and can be found in the [Python Packaging User's Guide](#).

2.2.2 Adding data and methods to the Basic example

Let's extend the basic example to add some data and methods. Let's also make the type usable as a base class. We'll create a new module, `custom2` that adds these capabilities:

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>
#include "structmember.h"

typedef struct {
    PyObject_HEAD
    PyObject *first; /* first name */
    PyObject *last;  /* last name */
    int number;
} CustomObject;

static void
Custom_dealloc(CustomObject *self)
{
    Py_XDECREF(self->first);
    Py_XDECREF(self->last);
    Py_TYPE(self)->tp_free((PyObject *) self);
}

static PyObject *
Custom_new(PyTypeObject *type, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    CustomObject *self;
    self = (CustomObject *) type->tp_alloc(type, 0);
    if (self != NULL) {
        self->first = PyUnicode_FromString("");
        if (self->first == NULL) {
            Py_DECREF(self);
            return NULL;
        }
        self->last = PyUnicode_FromString("");
        if (self->last == NULL) {
            Py_DECREF(self);
            return NULL;
        }
        self->number = 0;
    }
    return (PyObject *) self;
}

static int
Custom_init(CustomObject *self, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    static char *kwlist[] = {"first", "last", "number", NULL};
    PyObject *first = NULL, *last = NULL, *tmp;

    if (!PyArg_ParseTupleAndKeywords(args, kwds, "|OOi", kwlist,
                                     &first, &last,
                                     &self->number))
        return -1;

    if (first) {
        tmp = self->first;
```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```

        Py_INCREF(first);
        self->first = first;
        Py_XDECREF(tmp);
    }
    if (last) {
        tmp = self->last;
        Py_INCREF(last);
        self->last = last;
        Py_XDECREF(tmp);
    }
    return 0;
}

static PyMemberDef Custom_members[] = {
    {"first", T_OBJECT_EX, offsetof(CustomObject, first), 0,
     "first name"},
    {"last", T_OBJECT_EX, offsetof(CustomObject, last), 0,
     "last name"},
    {"number", T_INT, offsetof(CustomObject, number), 0,
     "custom number"},
    {NULL} /* Sentinel */
};

static PyObject *
Custom_name(CustomObject *self, PyObject *Py_UNUSED(ignored))
{
    if (self->first == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_AttributeError, "first");
        return NULL;
    }
    if (self->last == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_AttributeError, "last");
        return NULL;
    }
    return PyUnicode_FromFormat("%S %S", self->first, self->last);
}

static PyMethodDef Custom_methods[] = {
    {"name", (PyCFunction) Custom_name, METH_NOARGS,
     "Return the name, combining the first and last name"},
    {NULL} /* Sentinel */
};

static PyTypeObject CustomType = {
    PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
    .tp_name = "custom2.Custom",
    .tp_doc = PyDoc_STR("Custom objects"),
    .tp_basicsize = sizeof(CustomObject),
    .tp_itemsize = 0,
    .tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT | Py_TPFLAGS_BASETYPE,
    .tp_new = Custom_new,
    .tp_init = (initproc) Custom_init,
    .tp_dealloc = (destructor) Custom_dealloc,
    .tp_members = Custom_members,
    .tp_methods = Custom_methods,
};

static PyModuleDef custommodule = {
    PyModuleDef_HEAD_INIT,
    .m_name = "custom2",

```

(下頁繼續)

(繼續上一頁)

```

    .m_doc = "Example module that creates an extension type.",
    .m_size = -1,
};

PyMODINIT_FUNC
PyInit_custom2(void)
{
    PyObject *m;
    if (PyType_Ready(&CustomType) < 0)
        return NULL;

    m = PyModule_Create(&custommodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;

    Py_INCREF(&CustomType);
    if (PyModule_AddObject(m, "Custom", (PyObject *) &CustomType) < 0) {
        Py_DECREF(&CustomType);
        Py_DECREF(m);
        return NULL;
    }

    return m;
}

```

This version of the module has a number of changes.

We've added an extra include:

```
#include <structmember.h>
```

This include provides declarations that we use to handle attributes, as described a bit later.

The `Custom` type now has three data attributes in its C struct, *first*, *last*, and *number*. The *first* and *last* variables are Python strings containing first and last names. The *number* attribute is a C integer.

The object structure is updated accordingly:

```

typedef struct {
    PyObject_HEAD
    PyObject *first; /* first name */
    PyObject *last;  /* last name */
    int number;
} CustomObject;

```

Because we now have data to manage, we have to be more careful about object allocation and deallocation. At a minimum, we need a deallocation method:

```

static void
Custom_dealloc(CustomObject *self)
{
    Py_XDECREF(self->first);
    Py_XDECREF(self->last);
    Py_TYPE(self)->tp_free((PyObject *) self);
}

```

which is assigned to the `tp_dealloc` member:

```
.tp_dealloc = (destructor) Custom_dealloc,
```

This method first clears the reference counts of the two Python attributes. `Py_XDECREF()` correctly handles the case where its argument is `NULL` (which might happen here if `tp_new` failed midway). It then calls the `tp_free`

member of the object's type (computed by `Py_TYPE(self)`) to free the object's memory. Note that the object's type might not be `CustomType`, because the object may be an instance of a subclass.

備註： The explicit cast to destructor above is needed because we defined `Custom_dealloc` to take a `CustomObject *` argument, but the `tp_dealloc` function pointer expects to receive a `PyObject *` argument. Otherwise, the compiler will emit a warning. This is object-oriented polymorphism, in C!

We want to make sure that the first and last names are initialized to empty strings, so we provide a `tp_new` implementation:

```
static PyObject *
Custom_new(PyTypeObject *type, PyObject *args, PyObject *kwargs)
{
    CustomObject *self;
    self = (CustomObject *) type->tp_alloc(type, 0);
    if (self != NULL) {
        self->first = PyUnicode_FromString("");
        if (self->first == NULL) {
            Py_DECREF(self);
            return NULL;
        }
        self->last = PyUnicode_FromString("");
        if (self->last == NULL) {
            Py_DECREF(self);
            return NULL;
        }
        self->number = 0;
    }
    return (PyObject *) self;
}
```

and install it in the `tp_new` member:

```
.tp_new = Custom_new,
```

The `tp_new` handler is responsible for creating (as opposed to initializing) objects of the type. It is exposed in Python as the `__new__()` method. It is not required to define a `tp_new` member, and indeed many extension types will simply reuse `PyType_GenericNew()` as done in the first version of the `Custom` type above. In this case, we use the `tp_new` handler to initialize the `first` and `last` attributes to non-NULL default values.

`tp_new` is passed the type being instantiated (not necessarily `CustomType`, if a subclass is instantiated) and any arguments passed when the type was called, and is expected to return the instance created. `tp_new` handlers always accept positional and keyword arguments, but they often ignore the arguments, leaving the argument handling to initializer (a.k.a. `tp_init` in C or `__init__` in Python) methods.

備註： `tp_new` shouldn't call `tp_init` explicitly, as the interpreter will do it itself.

The `tp_new` implementation calls the `tp_alloc` slot to allocate memory:

```
self = (CustomObject *) type->tp_alloc(type, 0);
```

Since memory allocation may fail, we must check the `tp_alloc` result against `NULL` before proceeding.

備註： We didn't fill the `tp_alloc` slot ourselves. Rather `PyType_Ready()` fills it for us by inheriting it from our base class, which is `object` by default. Most types use the default allocation strategy.

備註： If you are creating a co-operative `tp_new` (one that calls a base type's `tp_new` or `__new__()`), you

must *not* try to determine what method to call using method resolution order at runtime. Always statically determine what type you are going to call, and call its `tp_new` directly, or via `type->tp_base->tp_new`. If you do not do this, Python subclasses of your type that also inherit from other Python-defined classes may not work correctly. (Specifically, you may not be able to create instances of such subclasses without getting a `TypeError`.)

We also define an initialization function which accepts arguments to provide initial values for our instance:

```
static int
Custom_init(CustomObject *self, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    static char *kwlist[] = {"first", "last", "number", NULL};
    PyObject *first = NULL, *last = NULL, *tmp;

    if (!PyArg_ParseTupleAndKeywords(args, kwds, "|OOi", kwlist,
                                     &first, &last,
                                     &self->number))
        return -1;

    if (first) {
        tmp = self->first;
        Py_INCREF(first);
        self->first = first;
        Py_XDECREF(tmp);
    }
    if (last) {
        tmp = self->last;
        Py_INCREF(last);
        self->last = last;
        Py_XDECREF(tmp);
    }
    return 0;
}
```

by filling the `tp_init` slot.

```
.tp_init = (initproc) Custom_init,
```

The `tp_init` slot is exposed in Python as the `__init__()` method. It is used to initialize an object after it's created. Initializers always accept positional and keyword arguments, and they should return either 0 on success or -1 on error.

Unlike the `tp_new` handler, there is no guarantee that `tp_init` is called at all (for example, the `pickle` module by default doesn't call `__init__()` on unpickled instances). It can also be called multiple times. Anyone can call the `__init__()` method on our objects. For this reason, we have to be extra careful when assigning the new attribute values. We might be tempted, for example to assign the `first` member like this:

```
if (first) {
    Py_XDECREF(self->first);
    Py_INCREF(first);
    self->first = first;
}
```

But this would be risky. Our type doesn't restrict the type of the `first` member, so it could be any kind of object. It could have a destructor that causes code to be executed that tries to access the `first` member; or that destructor could release the *Global interpreter Lock* and let arbitrary code run in other threads that accesses and modifies our object.

To be paranoid and protect ourselves against this possibility, we almost always reassign members before decrementing their reference counts. When don't we have to do this?

- when we absolutely know that the reference count is greater than 1;

- when we know that deallocation of the object¹ will neither release the *GIL* nor cause any calls back into our type's code;
- when decrementing a reference count in a `tp_dealloc` handler on a type which doesn't support cyclic garbage collection².

We want to expose our instance variables as attributes. There are a number of ways to do that. The simplest way is to define member definitions:

```
static PyMemberDef Custom_members[] = {
    {"first", T_OBJECT_EX, offsetof(CustomObject, first), 0,
     "first name"},
    {"last", T_OBJECT_EX, offsetof(CustomObject, last), 0,
     "last name"},
    {"number", T_INT, offsetof(CustomObject, number), 0,
     "custom number"},
    {NULL} /* Sentinel */
};
```

and put the definitions in the `tp_members` slot:

```
.tp_members = Custom_members,
```

Each member definition has a member name, type, offset, access flags and documentation string. See the 泛型屬性管理 section below for details.

A disadvantage of this approach is that it doesn't provide a way to restrict the types of objects that can be assigned to the Python attributes. We expect the first and last names to be strings, but any Python objects can be assigned. Further, the attributes can be deleted, setting the C pointers to NULL. Even though we can make sure the members are initialized to non-NULL values, the members can be set to NULL if the attributes are deleted.

We define a single method, `Custom.name()`, that outputs the objects name as the concatenation of the first and last names.

```
static PyObject *
Custom_name(CustomObject *self, PyObject *Py_UNUSED(ignored))
{
    if (self->first == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_AttributeError, "first");
        return NULL;
    }
    if (self->last == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_AttributeError, "last");
        return NULL;
    }
    return PyUnicode_FromFormat("%S %S", self->first, self->last);
}
```

The method is implemented as a C function that takes a `Custom` (or `Custom` subclass) instance as the first argument. Methods always take an instance as the first argument. Methods often take positional and keyword arguments as well, but in this case we don't take any and don't need to accept a positional argument tuple or keyword argument dictionary. This method is equivalent to the Python method:

```
def name(self):
    return "%s %s" % (self.first, self.last)
```

Note that we have to check for the possibility that our `first` and `last` members are NULL. This is because they can be deleted, in which case they are set to NULL. It would be better to prevent deletion of these attributes and to restrict the attribute values to be strings. We'll see how to do that in the next section.

Now that we've defined the method, we need to create an array of method definitions:

¹ This is true when we know that the object is a basic type, like a string or a float.

² We relied on this in the `tp_dealloc` handler in this example, because our type doesn't support garbage collection.

```
static PyMethodDef Custom_methods[] = {
    {"name", (PyCFunction) Custom_name, METH_NOARGS,
     "Return the name, combining the first and last name"},
    {},
    {NULL} /* Sentinel */
};
```

(note that we used the METH_NOARGS flag to indicate that the method is expecting no arguments other than *self*) and assign it to the tp_methods slot:

```
.tp_methods = Custom_methods,
```

Finally, we'll make our type usable as a base class for subclassing. We've written our methods carefully so far so that they don't make any assumptions about the type of the object being created or used, so all we need to do is to add the Py_TPFLAGS_BASETYPE to our class flag definition:

```
.tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT | Py_TPFLAGS_BASETYPE,
```

We rename PyInit_custom() to PyInit_custom2(), update the module name in the PyModuleDef struct, and update the full class name in the PyTypeObject struct.

Finally, we update our setup.py file to build the new module:

```
from distutils.core import setup, Extension
setup(name="custom", version="1.0",
      ext_modules=[
          Extension("custom", ["custom.c"]),
          Extension("custom2", ["custom2.c"]),
      ])

```

2.2.3 Providing finer control over data attributes

In this section, we'll provide finer control over how the first and last attributes are set in the Custom example. In the previous version of our module, the instance variables first and last could be set to non-string values or even deleted. We want to make sure that these attributes always contain strings.

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>
#include "structmember.h"

typedef struct {
    PyObject_HEAD
    PyObject *first; /* first name */
    PyObject *last; /* last name */
    int number;
} CustomObject;

static void
Custom_dealloc(CustomObject *self)
{
    Py_XDECREF(self->first);
    Py_XDECREF(self->last);
    Py_TYPE(self)->tp_free((PyObject *) self);
}

static PyObject *
Custom_new(PyTypeObject *type, PyObject *args, PyObject *kwargs)
{
    CustomObject *self;
```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```

self = (CustomObject *) type->tp_alloc(type, 0);
if (self != NULL) {
    self->first = PyUnicode_FromString("");
    if (self->first == NULL) {
        Py_DECREF(self);
        return NULL;
    }
    self->last = PyUnicode_FromString("");
    if (self->last == NULL) {
        Py_DECREF(self);
        return NULL;
    }
    self->number = 0;
}
return (PyObject *) self;
}

static int
Custom_init(CustomObject *self, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    static char *kwlist[] = {"first", "last", "number", NULL};
    PyObject *first = NULL, *last = NULL, *tmp;

    if (!PyArg_ParseTupleAndKeywords(args, kwds, "|UUi", kwlist,
                                     &first, &last,
                                     &self->number))
        return -1;

    if (first) {
        tmp = self->first;
        Py_INCREF(first);
        self->first = first;
        Py_DECREF(tmp);
    }
    if (last) {
        tmp = self->last;
        Py_INCREF(last);
        self->last = last;
        Py_DECREF(tmp);
    }
    return 0;
}

static PyMemberDef Custom_members[] = {
    {"number", T_INT, offsetof(CustomObject, number), 0,
     "custom number"},
    {NULL} /* Sentinel */
};

static PyObject *
Custom_getfirst(CustomObject *self, void *closure)
{
    Py_INCREF(self->first);
    return self->first;
}

static int
Custom_setfirst(CustomObject *self, PyObject *value, void *closure)
{
    PyObject *tmp;
    if (value == NULL) {

```

(下頁繼續)

(繼續上一頁)

```

        PyErr_SetString(PyExc_TypeError, "Cannot delete the first attribute");
        return -1;
    }
    if (!PyUnicode_Check(value)) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError,
            "The first attribute value must be a string");
        return -1;
    }
    tmp = self->first;
    Py_INCREF(value);
    self->first = value;
    Py_DECREF(tmp);
    return 0;
}

static PyObject *
Custom_getlast(CustomObject *self, void *closure)
{
    Py_INCREF(self->last);
    return self->last;
}

static int
Custom_setlast(CustomObject *self, PyObject *value, void *closure)
{
    PyObject *tmp;
    if (value == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError, "Cannot delete the last attribute");
        return -1;
    }
    if (!PyUnicode_Check(value)) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError,
            "The last attribute value must be a string");
        return -1;
    }
    tmp = self->last;
    Py_INCREF(value);
    self->last = value;
    Py_DECREF(tmp);
    return 0;
}

static PyGetSetDef Custom_getsetters[] = {
    {"first", (getter) Custom_getfirst, (setter) Custom_setfirst,
     "first name", NULL},
    {"last", (getter) Custom_getlast, (setter) Custom_setlast,
     "last name", NULL},
    {NULL} /* Sentinel */
};

static PyObject *
Custom_name(CustomObject *self, PyObject *Py_UNUSED(ignored))
{
    return PyUnicode_FromFormat("%S %S", self->first, self->last);
}

static PyMethodDef Custom_methods[] = {
    {"name", (PyCFunction) Custom_name, METH_NOARGS,
     "Return the name, combining the first and last name"},
    {NULL} /* Sentinel */
};

```

(下頁繼續)

(繼續上一頁)

```

};

static PyTypeObject CustomType = {
    PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
    .tp_name = "custom3.Custom",
    .tp_doc = PyDoc_STR("Custom objects"),
    .tp_basicsize = sizeof(CustomObject),
    .tp_itemsize = 0,
    .tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT | Py_TPFLAGS_BASETYPE,
    .tp_new = Custom_new,
    .tp_init = (initproc) Custom_init,
    .tp_dealloc = (destructor) Custom_dealloc,
    .tp_members = Custom_members,
    .tp_methods = Custom_methods,
    .tp_getset = Custom_getsetters,
};

static PyModuleDef custommodule = {
    PyModuleDef_HEAD_INIT,
    .m_name = "custom3",
    .m_doc = "Example module that creates an extension type.",
    .m_size = -1,
};

PyMODINIT_FUNC
PyInit_custom3(void)
{
    PyObject *m;
    if (PyType_Ready(&CustomType) < 0)
        return NULL;

    m = PyModule_Create(&custommodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;

    Py_INCREF(&CustomType);
    if (PyModule_AddObject(m, "Custom", (PyObject *) &CustomType) < 0) {
        Py_DECREF(&CustomType);
        Py_DECREF(m);
        return NULL;
    }

    return m;
}

```

To provide greater control, over the first and last attributes, we'll use custom getter and setter functions. Here are the functions for getting and setting the first attribute:

```

static PyObject *
Custom_getfirst(CustomObject *self, void *closure)
{
    Py_INCREF(self->first);
    return self->first;
}

static int
Custom_setfirst(CustomObject *self, PyObject *value, void *closure)
{
    PyObject *tmp;
    if (value == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError, "Cannot delete the first attribute");
    }
}

```

(下頁繼續)

(繼續上一頁)

```

    return -1;
}
if (!PyUnicode_Check(value)) {
    PyErr_SetString(PyExc_TypeError,
                    "The first attribute value must be a string");
    return -1;
}
tmp = self->first;
Py_INCREF(value);
self->first = value;
Py_DECREF(tmp);
return 0;
}

```

The getter function is passed a Custom object and a "closure", which is a void pointer. In this case, the closure is ignored. (The closure supports an advanced usage in which definition data is passed to the getter and setter. This could, for example, be used to allow a single set of getter and setter functions that decide the attribute to get or set based on data in the closure.)

The setter function is passed the Custom object, the new value, and the closure. The new value may be NULL, in which case the attribute is being deleted. In our setter, we raise an error if the attribute is deleted or if its new value is not a string.

We create an array of PyGetSetDef structures:

```

static PyGetSetDef Custom_getsetters[] = {
    {"first", (getter) Custom_getfirst, (setter) Custom_setfirst,
     "first name", NULL},
    {"last", (getter) Custom_getlast, (setter) Custom_setlast,
     "last name", NULL},
    {NULL} /* Sentinel */
};

```

and register it in the tp_getset slot:

```
.tp_getset = Custom_getsetters,
```

The last item in a PyGetSetDef structure is the "closure" mentioned above. In this case, we aren't using a closure, so we just pass NULL.

We also remove the member definitions for these attributes:

```

static PyMemberDef Custom_members[] = {
    {"number", T_INT, offsetof(CustomObject, number), 0,
     "custom number"},
    {NULL} /* Sentinel */
};

```

We also need to update the tp_init handler to only allow strings³ to be passed:

```

static int
Custom_init(CustomObject *self, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    static char *kwlist[] = {"first", "last", "number", NULL};
    PyObject *first = NULL, *last = NULL, *tmp;

    if (!PyArg_ParseTupleAndKeywords(args, kwds, "|UUi", kwlist,
                                     &first, &last,

```

(下页继续)

³ We now know that the first and last members are strings, so perhaps we could be less careful about decrementing their reference counts, however, we accept instances of string subclasses. Even though deallocating normal strings won't call back into our objects, we can't guarantee that deallocating an instance of a string subclass won't call back into our objects.

(繼續上一頁)

```

                                &self->number))

    return -1;

    if (first) {
        tmp = self->first;
        Py_INCREF(first);
        self->first = first;
        Py_DECREF(tmp);
    }
    if (last) {
        tmp = self->last;
        Py_INCREF(last);
        self->last = last;
        Py_DECREF(tmp);
    }
    return 0;
}

```

With these changes, we can assure that the `first` and `last` members are never `NULL` so we can remove checks for `NULL` values in almost all cases. This means that most of the `Py_XDECREF()` calls can be converted to `Py_DECREF()` calls. The only place we can't change these calls is in the `tp_dealloc` implementation, where there is the possibility that the initialization of these members failed in `tp_new`.

We also rename the module initialization function and module name in the initialization function, as we did before, and we add an extra definition to the `setup.py` file.

2.2.4 Supporting cyclic garbage collection

Python has a *cyclic garbage collector (GC)* that can identify unneeded objects even when their reference counts are not zero. This can happen when objects are involved in cycles. For example, consider:

```

>>> l = []
>>> l.append(l)
>>> del l

```

In this example, we create a list that contains itself. When we delete it, it still has a reference from itself. Its reference count doesn't drop to zero. Fortunately, Python's cyclic garbage collector will eventually figure out that the list is garbage and free it.

In the second version of the `Custom` example, we allowed any kind of object to be stored in the `first` or `last` attributes⁴. Besides, in the second and third versions, we allowed subclassing `Custom`, and subclasses may add arbitrary attributes. For any of those two reasons, `Custom` objects can participate in cycles:

```

>>> import custom3
>>> class Derived(custom3.Custom): pass
...
>>> n = Derived()
>>> n.some_attribute = n

```

To allow a `Custom` instance participating in a reference cycle to be properly detected and collected by the cyclic GC, our `Custom` type needs to fill two additional slots and to enable a flag that enables these slots:

```

#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>
#include "structmember.h"

typedef struct {

```

(下页继续)

⁴ Also, even with our attributes restricted to strings instances, the user could pass arbitrary `str` subclasses and therefore still create reference cycles.

(繼續上一頁)

```

PyObject_HEAD
PyObject *first; /* first name */
PyObject *last;  /* last name */
int number;
} CustomObject;

static int
Custom_traverse(CustomObject *self, visitproc visit, void *arg)
{
    Py_VISIT(self->first);
    Py_VISIT(self->last);
    return 0;
}

static int
Custom_clear(CustomObject *self)
{
    Py_CLEAR(self->first);
    Py_CLEAR(self->last);
    return 0;
}

static void
Custom_dealloc(CustomObject *self)
{
    PyObject_GC_UnTrack(self);
    Custom_clear(self);
    Py_TYPE(self)->tp_free((PyObject *) self);
}

static PyObject *
Custom_new(PyTypeObject *type, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    CustomObject *self;
    self = (CustomObject *) type->tp_alloc(type, 0);
    if (self != NULL) {
        self->first = PyUnicode_FromString("");
        if (self->first == NULL) {
            Py_DECREF(self);
            return NULL;
        }
        self->last = PyUnicode_FromString("");
        if (self->last == NULL) {
            Py_DECREF(self);
            return NULL;
        }
        self->number = 0;
    }
    return (PyObject *) self;
}

static int
Custom_init(CustomObject *self, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    static char *kwlist[] = {"first", "last", "number", NULL};
    PyObject *first = NULL, *last = NULL, *tmp;

    if (!PyArg_ParseTupleAndKeywords(args, kwds, "|UUi", kwlist,
                                     &first, &last,
                                     &self->number))
        return -1;
}

```

(下頁繼續)

(繼續上一頁)

```

    if (first) {
        tmp = self->first;
        Py_INCREF(first);
        self->first = first;
        Py_DECREF(tmp);
    }
    if (last) {
        tmp = self->last;
        Py_INCREF(last);
        self->last = last;
        Py_DECREF(tmp);
    }
    return 0;
}

static PyMemberDef Custom_members[] = {
    {"number", T_INT, offsetof(CustomObject, number), 0,
     "custom number"},
    {NULL} /* Sentinel */
};

static PyObject *
Custom_getfirst(CustomObject *self, void *closure)
{
    Py_INCREF(self->first);
    return self->first;
}

static int
Custom_setfirst(CustomObject *self, PyObject *value, void *closure)
{
    if (value == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError, "Cannot delete the first attribute");
        return -1;
    }
    if (!PyUnicode_Check(value)) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError,
                        "The first attribute value must be a string");
        return -1;
    }
    Py_INCREF(value);
    Py_CLEAR(self->first);
    self->first = value;
    return 0;
}

static PyObject *
Custom_getlast(CustomObject *self, void *closure)
{
    Py_INCREF(self->last);
    return self->last;
}

static int
Custom_setlast(CustomObject *self, PyObject *value, void *closure)
{
    if (value == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError, "Cannot delete the last attribute");
        return -1;
    }
}

```

(下頁繼續)

(繼續上一頁)

```

    if (!PyUnicode_Check(value)) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError,
                        "The last attribute value must be a string");
        return -1;
    }
    Py_INCREF(value);
    Py_CLEAR(self->last);
    self->last = value;
    return 0;
}

static PyGetSetDef Custom_getsetters[] = {
    {"first", (getter) Custom_getfirst, (setter) Custom_setfirst,
     "first name", NULL},
    {"last", (getter) Custom_getlast, (setter) Custom_setlast,
     "last name", NULL},
    {NULL} /* Sentinel */
};

static PyObject *
Custom_name(CustomObject *self, PyObject *Py_UNUSED(ignored))
{
    return PyUnicode_FromFormat("%S %S", self->first, self->last);
}

static PyMethodDef Custom_methods[] = {
    {"name", (PyCFunction) Custom_name, METH_NOARGS,
     "Return the name, combining the first and last name"},
    {NULL} /* Sentinel */
};

static PyTypeObject CustomType = {
    PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
    .tp_name = "custom4.Custom",
    .tp_doc = PyDoc_STR("Custom objects"),
    .tp_basicsize = sizeof(CustomObject),
    .tp_itemsize = 0,
    .tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT | Py_TPFLAGS_BASETYPE | Py_TPFLAGS_HAVE_GC,
    .tp_new = Custom_new,
    .tp_init = (initproc) Custom_init,
    .tp_dealloc = (destructor) Custom_dealloc,
    .tp_traverse = (traverseproc) Custom_traverse,
    .tp_clear = (inquiry) Custom_clear,
    .tp_members = Custom_members,
    .tp_methods = Custom_methods,
    .tp_getset = Custom_getsetters,
};

static PyModuleDef custommodule = {
    PyModuleDef_HEAD_INIT,
    .m_name = "custom4",
    .m_doc = "Example module that creates an extension type.",
    .m_size = -1,
};

PyMODINIT_FUNC
PyInit_custom4(void)
{
    PyObject *m;
    if (PyType_Ready(&CustomType) < 0)

```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```

    return NULL;

    m = PyModule_Create(&custommodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;

    Py_INCREF(&CustomType);
    if (PyModule_AddObject(m, "Custom", (PyObject *) &CustomType) < 0) {
        Py_DECREF(&CustomType);
        Py_DECREF(m);
        return NULL;
    }

    return m;
}

```

First, the traversal method lets the cyclic GC know about subobjects that could participate in cycles:

```

static int
Custom_traverse(CustomObject *self, visitproc visit, void *arg)
{
    int vret;
    if (self->first) {
        vret = visit(self->first, arg);
        if (vret != 0)
            return vret;
    }
    if (self->last) {
        vret = visit(self->last, arg);
        if (vret != 0)
            return vret;
    }
    return 0;
}

```

For each subobject that can participate in cycles, we need to call the `visit()` function, which is passed to the traversal method. The `visit()` function takes as arguments the subobject and the extra argument `arg` passed to the traversal method. It returns an integer value that must be returned if it is non-zero.

Python provides a `Py_VISIT()` macro that automates calling visit functions. With `Py_VISIT()`, we can minimize the amount of boilerplate in `Custom_traverse`:

```

static int
Custom_traverse(CustomObject *self, visitproc visit, void *arg)
{
    Py_VISIT(self->first);
    Py_VISIT(self->last);
    return 0;
}

```

備 F: The `tp_traverse` implementation must name its arguments exactly `visit` and `arg` in order to use `Py_VISIT()`.

Second, we need to provide a method for clearing any subobjects that can participate in cycles:

```

static int
Custom_clear(CustomObject *self)
{
    Py_CLEAR(self->first);
}

```

(下頁繼續)

(繼續上一頁)

```
Py_CLEAR(self->last);
return 0;
}
```

Notice the use of the `Py_CLEAR()` macro. It is the recommended and safe way to clear data attributes of arbitrary types while decrementing their reference counts. If you were to call `Py_XDECREF()` instead on the attribute before setting it to `NULL`, there is a possibility that the attribute's destructor would call back into code that reads the attribute again (*especially* if there is a reference cycle).

備註: You could emulate `Py_CLEAR()` by writing:

```
PyObject *tmp;
tmp = self->first;
self->first = NULL;
Py_XDECREF(tmp);
```

Nevertheless, it is much easier and less error-prone to always use `Py_CLEAR()` when deleting an attribute. Don't try to micro-optimize at the expense of robustness!

The deallocator `Custom_dealloc` may call arbitrary code when clearing attributes. It means the circular GC can be triggered inside the function. Since the GC assumes reference count is not zero, we need to untrack the object from the GC by calling `PyObject_GC_UnTrack()` before clearing members. Here is our reimplemented deallocator using `PyObject_GC_UnTrack()` and `Custom_clear`:

```
static void
Custom_dealloc(CustomObject *self)
{
    PyObject_GC_UnTrack(self);
    Custom_clear(self);
    Py_TYPE(self)->tp_free((PyObject *) self);
}
```

Finally, we add the `Py_TPFLAGS_HAVE_GC` flag to the class flags:

```
.tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT | Py_TPFLAGS_BASETYPE | Py_TPFLAGS_HAVE_GC,
```

That's pretty much it. If we had written custom `tp_alloc` or `tp_free` handlers, we'd need to modify them for cyclic garbage collection. Most extensions will use the versions automatically provided.

2.2.5 Subclassing other types

It is possible to create new extension types that are derived from existing types. It is easiest to inherit from the built-in types, since an extension can easily use the `PyTypeObject` it needs. It can be difficult to share these `PyTypeObject` structures between extension modules.

In this example we will create a `SubList` type that inherits from the built-in `list` type. The new type will be completely compatible with regular lists, but will have an additional `increment()` method that increases an internal counter:

```
>>> import sublist
>>> s = sublist.SubList(range(3))
>>> s.extend(s)
>>> print(len(s))
6
>>> print(s.increment())
1
>>> print(s.increment())
2
```

```

#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>

typedef struct {
    PyListObject list;
    int state;
} SubListObject;

static PyObject *
SubList_increment(SubListObject *self, PyObject *unused)
{
    self->state++;
    return PyLong_FromLong(self->state);
}

static PyMethodDef SubList_methods[] = {
    {"increment", (PyCFunction) SubList_increment, METH_NOARGS,
     PyDoc_STR("increment state counter")},
    {NULL},
};

static int
SubList_init(SubListObject *self, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    if (PyList_Type.tp_init((PyObject *) self, args, kwds) < 0)
        return -1;
    self->state = 0;
    return 0;
}

static PyTypeObject SubListType = {
    PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
    .tp_name = "sublist.SubList",
    .tp_doc = PyDoc_STR("SubList objects"),
    .tp_basicsize = sizeof(SubListObject),
    .tp_itemsize = 0,
    .tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT | Py_TPFLAGS_BASETYPE,
    .tp_init = (initproc) SubList_init,
    .tp_methods = SubList_methods,
};

static PyModuleDef sublistmodule = {
    PyModuleDef_HEAD_INIT,
    .m_name = "sublist",
    .m_doc = "Example module that creates an extension type.",
    .m_size = -1,
};

PyMODINIT_FUNC
PyInit_sublist(void)
{
    PyObject *m;
    SubListType.tp_base = &PyList_Type;
    if (PyType_Ready(&SubListType) < 0)
        return NULL;

    m = PyModule_Create(&sublistmodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;

    Py_INCREF(&SubListType);
    if (PyModule_AddObject(m, "SubList", (PyObject *) &SubListType) < 0) {

```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```

    Py_DECREF(&SubListType);
    Py_DECREF(m);
    return NULL;
}

return m;
}

```

As you can see, the source code closely resembles the Custom examples in previous sections. We will break down the main differences between them.

```

typedef struct {
    PyListObject list;
    int state;
} SubListObject;

```

The primary difference for derived type objects is that the base type's object structure must be the first value. The base type will already include the `PyObject_HEAD()` at the beginning of its structure.

When a Python object is a `SubList` instance, its `PyObject *` pointer can be safely cast to both `PyListObject *` and `SubListObject *`:

```

static int
SubList_init(SubListObject *self, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    if (PyList_Type.tp_init((PyObject *) self, args, kwds) < 0)
        return -1;
    self->state = 0;
    return 0;
}

```

We see above how to call through to the `__init__` method of the base type.

This pattern is important when writing a type with custom `tp_new` and `tp_dealloc` members. The `tp_new` handler should not actually create the memory for the object with its `tp_alloc`, but let the base class handle it by calling its own `tp_new`.

The `PyTypeObject` struct supports a `tp_base` specifying the type's concrete base class. Due to cross-platform compiler issues, you can't fill that field directly with a reference to `PyList_Type`; it should be done later in the module initialization function:

```

PyMODINIT_FUNC
PyInit_sublist(void)
{
    PyObject* m;
    SubListType.tp_base = &PyList_Type;
    if (PyType_Ready(&SubListType) < 0)
        return NULL;

    m = PyModule_Create(&sublistmodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;

    Py_INCREF(&SubListType);
    if (PyModule_AddObject(m, "SubList", (PyObject *) &SubListType) < 0) {
        Py_DECREF(&SubListType);
        Py_DECREF(m);
        return NULL;
    }

    return m;
}

```

Before calling `PyType_Ready()`, the type structure must have the `tp_base` slot filled in. When we are deriving an existing type, it is not necessary to fill out the `tp_alloc` slot with `PyType_GenericNew()` -- the allocation function from the base type will be inherited.

After that, calling `PyType_Ready()` and adding the type object to the module is the same as with the basic Custom examples.

脚注

2.3 定义扩展类型：已分类主题

本章节目标是提供一个各种你可以实现的类型方法及其功能的简短介绍。

这是 C 类型 `PyTypeObject` 的定义，省略了只用于调试构建的字段：

```
typedef struct _typeobject {
    PyObject_VAR_HEAD
    const char *tp_name; /* For printing, in format "<module>.<name>" */
    Py_ssize_t tp_basicsize, tp_itemsize; /* For allocation */

    /* Methods to implement standard operations */

    destructor tp_dealloc;
    Py_ssize_t tp_vectorcall_offset;
    getattrofunc tp_getattr;
    setattrofunc tp_setattr;
    PyAsyncMethods *tp_as_async; /* formerly known as tp_compare (Python 2)
                                   or tp_reserved (Python 3) */
    reprfunc tp_repr;

    /* Method suites for standard classes */

    PyNumberMethods *tp_as_number;
    PySequenceMethods *tp_as_sequence;
    PyMappingMethods *tp_as_mapping;

    /* More standard operations (here for binary compatibility) */

    hashfunc tp_hash;
    ternaryfunc tp_call;
    reprfunc tp_str;
    getattrofunc tp_getattro;
    setattrofunc tp_setattro;

    /* Functions to access object as input/output buffer */
    PyBufferProcs *tp_as_buffer;

    /* Flags to define presence of optional/expanded features */
    unsigned long tp_flags;

    const char *tp_doc; /* Documentation string */

    /* call function for all accessible objects */
    traverseproc tp_traverse;

    /* delete references to contained objects */
    inquiry tp_clear;

    /* rich comparisons */
    richcmpfunc tp_richcompare;
```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```

/* weak reference enabler */
Py_ssize_t tp_weaklistoffset;

/* Iterators */
getiterfunc tp_iter;
iternextfunc tp_iternext;

/* Attribute descriptor and subclassing stuff */
struct PyMethodDef *tp_methods;
struct PyMemberDef *tp_members;
struct PyGetSetDef *tp_getset;
struct _typeobject *tp_base;
PyObject *tp_dict;
descrgetfunc tp_descr_get;
descrsetfunc tp_descr_set;
Py_ssize_t tp_dictoffset;
initproc tp_init;
allocfunc tp_alloc;
newfunc tp_new;
freefunc tp_free; /* Low-level free-memory routine */
inquiry tp_is_gc; /* For PyObject_IS_GC */
PyObject *tp_bases;
PyObject *tp_mro; /* method resolution order */
PyObject *tp_cache;
PyObject *tp_subclasses;
PyObject *tp_weaklist;
destructor tp_del;

/* Type attribute cache version tag. Added in version 2.6 */
unsigned int tp_version_tag;

destructor tp_finalize;
} PyTypeObject;

```

这里有很多方法。但是不要太担心，如果你要定义一个类型，通常只需要实现少量的方法。

正如你猜到的一样，我们正要一步一步详细介绍各种处理程序。因为有大量的历史包袱影响字段的排序，所以我们不会根据它们在结构体里定义的顺序讲解。通常非常容易找到一个包含你需要的字段的例子，然后改变值去适应你新的类型。

```
const char *tp_name; /* For printing */
```

类型的名字 - 上一章提到过的，会出现在很多地方，几乎全部都是为了诊断目的。尝试选择一个好名字，对于诊断很有帮助。

```
Py_ssize_t tp_basicsize, tp_itemsize; /* For allocation */
```

这些字段告诉运行时在创造这个类型的新对象时需要分配多少内存。Python 为了可变长度的结构（想下：字符串，元组）有些内置支持，这是 `tp_itemsize` 字段存在的原由。这部分稍后解释。

```
const char *tp_doc;
```

这里你可以放置一段字符串（或者它的地址），当你在 Python 脚本引用 `obj.__doc__` 时返回这段文档字符串。

现在来看一下基本类型方法 - 大多数扩展类型将实现的方法。

2.3.1 终结和内存释放

```
destructor tp_dealloc;
```

当您的类型实例的引用计数减少为零并且 Python 解释器想要回收它时，将调用此函数。如果您的类型有内存可供释放或执行其他清理，您可以把它放在这里。对象本身也需要在这里释放。以下是此函数的示例：

```
static void
newdatatype_dealloc(newdatatypeobject *obj)
{
    free(obj->obj_UnderlyingDatatypePtr);
    Py_TYPE(obj)->tp_free((PyObject *)obj);
}
```

If your type supports garbage collection, the destructor should call `PyObject_GC_UnTrack()` before clearing any member fields:

```
static void
newdatatype_dealloc(newdatatypeobject *obj)
{
    PyObject_GC_UnTrack(obj);
    Py_CLEAR(obj->other_obj);
    ...
    Py_TYPE(obj)->tp_free((PyObject *)obj);
}
```

一个重要的释放器函数实现要求是把所有未决异常放着不动。这很重要是因为释放器会被解释器频繁的调用，当栈异常退出时（而非正常返回），不会有任何办法保护释放器看到一个异常尚未被设置。此事释放器的任何行为都会导致额外增加的 Python 代码来检查异常是否被设置。这可能导致解释器的误导性错误。正确的保护方法是，在任何不安全的操作前，保存未决异常，然后在其完成后恢复。者可以通过 `PyErr_Fetch()` 和 `PyErr_Restore()` 函数来实现：

```
static void
my_dealloc(PyObject *obj)
{
    PyObject *self = (PyObject *) obj;
    PyObject *cbresult;

    if (self->my_callback != NULL) {
        PyObject *err_type, *err_value, *err_traceback;

        /* This saves the current exception state */
        PyErr_Fetch(&err_type, &err_value, &err_traceback);

        cbresult = PyObject_CallNoArgs(self->my_callback);
        if (cbresult == NULL)
            PyErr_WriteUnraisable(self->my_callback);
        else
            Py_DECREF(cbresult);

        /* This restores the saved exception state */
        PyErr_Restore(err_type, err_value, err_traceback);

        Py_DECREF(self->my_callback);
    }
    Py_TYPE(obj)->tp_free((PyObject*)self);
}
```

備 註：There are limitations to what you can safely do in a deallocator function. First, if your type supports garbage collection (using `tp_traverse` and/or `tp_clear`), some of the object's members can have been cleared or

finalized by the time `tp_dealloc` is called. Second, in `tp_dealloc`, your object is in an unstable state: its reference count is equal to zero. Any call to a non-trivial object or API (as in the example above) might end up calling `tp_dealloc` again, causing a double free and a crash.

从 Python 3.4 开始，推荐不要在 `tp_dealloc` 放复杂的终结代码，而是使用新的 `tp_finalize` 类型方法。

也参考：

[PEP 442](#) 解释了新的终结方案。

2.3.2 对象展示

在 Python 中，有两种方式可以生成对象的文本表示：`repr()` 函数和 `str()` 函数。（`print()` 函数会直接调用 `str()`。）这些处理程序都是可选的。

```
reprfunc tp_repr;
reprfunc tp_str;
```

`tp_repr` 处理程序应该返回一个字符串对象，其中包含调用它的实例的表示形式。下面是一个简单的例子：

```
static PyObject *
newdatatype_repr(newdatatypeobject * obj)
{
    return PyUnicode_FromFormat("Repr-ified_newdatatype{%d}",
                                obj->obj_UnderlyingDatatypePtr->size);
}
```

如果没有指定 `tp_repr` 处理程序，解释器将提供一个使用 `tp_name` 的表示形式以及对象的惟一标识值。

The `tp_str` handler is to `str()` what the `tp_repr` handler described above is to `repr()`; that is, it is called when Python code calls `str()` on an instance of your object. Its implementation is very similar to the `tp_repr` function, but the resulting string is intended for human consumption. If `tp_str` is not specified, the `tp_repr` handler is used instead.

下面是一个简单的例子：

```
static PyObject *
newdatatype_str(newdatatypeobject * obj)
{
    return PyUnicode_FromFormat("Stringified_newdatatype{%d}",
                                obj->obj_UnderlyingDatatypePtr->size);
}
```

2.3.3 属性管理

For every object which can support attributes, the corresponding type must provide the functions that control how the attributes are resolved. There needs to be a function which can retrieve attributes (if any are defined), and another to set attributes (if setting attributes is allowed). Removing an attribute is a special case, for which the new value passed to the handler is `NULL`.

Python supports two pairs of attribute handlers; a type that supports attributes only needs to implement the functions for one pair. The difference is that one pair takes the name of the attribute as a `char*`, while the other accepts a `PyObject*`. Each type can use whichever pair makes more sense for the implementation's convenience.

```

getattrfunc tp_getattr;          /* char * version */
setattrfunc tp_setattr;
/* ... */
getattrofunc tp_getattro;        /* PyObject * version */
setattrofunc tp_setattro;

```

If accessing attributes of an object is always a simple operation (this will be explained shortly), there are generic implementations which can be used to provide the `PyObject *` version of the attribute management functions. The actual need for type-specific attribute handlers almost completely disappeared starting with Python 2.2, though there are many examples which have not been updated to use some of the new generic mechanism that is available.

泛型属性管理

大多数扩展类型只使用 简单属性，那么，是什么让属性变得“简单”呢？只需要满足下面几个条件：

1. 当调用 `PyType_Ready()` 时，必须知道属性的名称。
2. 不需要特殊的处理来记录属性是否被查找或设置，也不需要根据值采取操作。

请注意，此列表不对属性的值、值的计算时间或相关数据的存储方式施加任何限制。

When `PyType_Ready()` is called, it uses three tables referenced by the type object to create *descriptors* which are placed in the dictionary of the type object. Each descriptor controls access to one attribute of the instance object. Each of the tables is optional; if all three are `NULL`, instances of the type will only have attributes that are inherited from their base type, and should leave the `tp_getattro` and `tp_setattro` fields `NULL` as well, allowing the base type to handle attributes.

表被声明为 `object::` 类型的三个字段：

```

struct PyMethodDef *tp_methods;
struct PyMemberDef *tp_members;
struct PyGetSetDef *tp_getset;

```

If `tp_methods` is not `NULL`, it must refer to an array of `PyMethodDef` structures. Each entry in the table is an instance of this structure:

```

typedef struct PyMethodDef {
    const char *ml_name;          /* method name */
    PyCFunction ml_meth;          /* implementation function */
    int ml_flags;                 /* flags */
    const char *ml_doc;           /* docstring */
} PyMethodDef;

```

One entry should be defined for each method provided by the type; no entries are needed for methods inherited from a base type. One additional entry is needed at the end; it is a sentinel that marks the end of the array. The `ml_name` field of the sentinel must be `NULL`.

The second table is used to define attributes which map directly to data stored in the instance. A variety of primitive C types are supported, and access may be read-only or read-write. The structures in the table are defined as:

```

typedef struct PyMemberDef {
    const char *name;
    int type;
    int offset;
    int flags;
    const char *doc;
} PyMemberDef;

```

For each entry in the table, a *descriptor* will be constructed and added to the type which will be able to extract a value from the instance structure. The `type` field should contain one of the type codes defined in the `structmember.h` header; the value will be used to determine how to convert Python values to and from C values. The `flags` field is used to store flags which control how the attribute can be accessed.

以下标志常量定义在:file: 'structmember.h'; 它们可以使用 bitwise-OR 组合。

常数	意义
READONLY	没有可写的
READ_RESTRICTED	Not readable in restricted mode.
WRITE_RESTRICTED	Not writable in restricted mode.
RESTRICTED	在受限模式下不可读，也不可写。

An interesting advantage of using the `tp_members` table to build descriptors that are used at runtime is that any attribute defined this way can have an associated doc string simply by providing the text in the table. An application can use the introspection API to retrieve the descriptor from the class object, and get the doc string using its `__doc__` attribute.

As with the `tp_methods` table, a sentinel entry with a name value of `NULL` is required.

Type-specific Attribute Management

For simplicity, only the `char*` version will be demonstrated here; the type of the name parameter is the only difference between the `char*` and `PyObject*` flavors of the interface. This example effectively does the same thing as the generic example above, but does not use the generic support added in Python 2.2. It explains how the handler functions are called, so that if you do need to extend their functionality, you'll understand what needs to be done.

The `tp_getattr` handler is called when the object requires an attribute look-up. It is called in the same situations where the `__getattr__()` method of a class would be called.

例如:

```
static PyObject *
newdatatype_getattr(newdatatypeobject *obj, char *name)
{
    if (strcmp(name, "data") == 0)
    {
        return PyLong_FromLong(obj->data);
    }

    PyErr_Format(PyExc_AttributeError,
                 "%50s' object has no attribute '%40s'",
                 tp->tp_name, name);
    return NULL;
}
```

The `tp_setattr` handler is called when the `__setattr__()` or `__delattr__()` method of a class instance would be called. When an attribute should be deleted, the third parameter will be `NULL`. Here is an example that simply raises an exception; if this were really all you wanted, the `tp_setattr` handler should be set to `NULL`.

```
static int
newdatatype_setattr(newdatatypeobject *obj, char *name, PyObject *v)
{
    PyErr_Format(PyExc_RuntimeError, "Read-only attribute: %s", name);
    return -1;
}
```

2.3.4 Object Comparison

```
richcmpfunc tp_richcompare;
```

The `tp_richcompare` handler is called when comparisons are needed. It is analogous to the rich comparison methods, like `__lt__()`, and also called by `PyObject_RichCompare()` and `PyObject_RichCompareBool()`.

This function is called with two Python objects and the operator as arguments, where the operator is one of `Py_EQ`, `Py_NE`, `Py_LE`, `Py_GE`, `Py_LT` or `Py_GT`. It should compare the two objects with respect to the specified operator and return `Py_True` or `Py_False` if the comparison is successful, `Py_NotImplemented` to indicate that comparison is not implemented and the other object's comparison method should be tried, or `NULL` if an exception was set.

Here is a sample implementation, for a datatype that is considered equal if the size of an internal pointer is equal:

```
static PyObject *
newdatatype_richcmp(PyObject *obj1, PyObject *obj2, int op)
{
    PyObject *result;
    int c, size1, size2;

    /* code to make sure that both arguments are of type
       newdatatype omitted */

    size1 = obj1->obj_UnderlyingDatatypePtr->size;
    size2 = obj2->obj_UnderlyingDatatypePtr->size;

    switch (op) {
        case Py_LT: c = size1 < size2; break;
        case Py_LE: c = size1 <= size2; break;
        case Py_EQ: c = size1 == size2; break;
        case Py_NE: c = size1 != size2; break;
        case Py_GT: c = size1 > size2; break;
        case Py_GE: c = size1 >= size2; break;
    }
    result = c ? Py_True : Py_False;
    Py_INCREF(result);
    return result;
}
```

2.3.5 Abstract Protocol Support

Python supports a variety of *abstract* 'protocols;' the specific interfaces provided to use these interfaces are documented in abstract.

A number of these abstract interfaces were defined early in the development of the Python implementation. In particular, the number, mapping, and sequence protocols have been part of Python since the beginning. Other protocols have been added over time. For protocols which depend on several handler routines from the type implementation, the older protocols have been defined as optional blocks of handlers referenced by the type object. For newer protocols there are additional slots in the main type object, with a flag bit being set to indicate that the slots are present and should be checked by the interpreter. (The flag bit does not indicate that the slot values are non-NULL. The flag may be set to indicate the presence of a slot, but a slot may still be unfilled.)

```
PyNumberMethods    *tp_as_number;
PySequenceMethods  *tp_as_sequence;
PyMappingMethods    *tp_as_mapping;
```

If you wish your object to be able to act like a number, a sequence, or a mapping object, then you place the address of a structure that implements the C type `PyNumberMethods`, `PySequenceMethods`, or `PyMappingMethods`,

respectively. It is up to you to fill in this structure with appropriate values. You can find examples of the use of each of these in the `Objects` directory of the Python source distribution.

```
hashfunc tp_hash;
```

This function, if you choose to provide it, should return a hash number for an instance of your data type. Here is a simple example:

```
static Py_hash_t
newdatatype_hash(newdatatypeobject *obj)
{
    Py_hash_t result;
    result = obj->some_size + 32767 * obj->some_number;
    if (result == -1)
        result = -2;
    return result;
}
```

`Py_hash_t` is a signed integer type with a platform-varying width. Returning `-1` from `tp_hash` indicates an error, which is why you should be careful to avoid returning it when hash computation is successful, as seen above.

```
ternaryfunc tp_call;
```

This function is called when an instance of your data type is "called", for example, if `obj1` is an instance of your data type and the Python script contains `obj1('hello')`, the `tp_call` handler is invoked.

This function takes three arguments:

1. *self* is the instance of the data type which is the subject of the call. If the call is `obj1('hello')`, then *self* is `obj1`.
2. *args* is a tuple containing the arguments to the call. You can use `PyArg_ParseTuple()` to extract the arguments.
3. *kws* is a dictionary of keyword arguments that were passed. If this is non-NULL and you support keyword arguments, use `PyArg_ParseTupleAndKeywords()` to extract the arguments. If you do not want to support keyword arguments and this is non-NULL, raise a `TypeError` with a message saying that keyword arguments are not supported.

Here is a toy `tp_call` implementation:

```
static PyObject *
newdatatype_call(newdatatypeobject *self, PyObject *args, PyObject *kws)
{
    PyObject *result;
    const char *arg1;
    const char *arg2;
    const char *arg3;

    if (!PyArg_ParseTuple(args, "sss:call", &arg1, &arg2, &arg3)) {
        return NULL;
    }
    result = PyUnicode_FromFormat(
        "Returning -- value: [%d] arg1: [%s] arg2: [%s] arg3: [%s]\n",
        obj->obj_UnderlyingDatatypePtr->size,
        arg1, arg2, arg3);
    return result;
}
```

```
/* Iterators */
getiterfunc tp_iter;
iternextfunc tp_iternext;
```

These functions provide support for the iterator protocol. Both handlers take exactly one parameter, the instance for which they are being called, and return a new reference. In the case of an error, they should set an exception and return NULL. `tp_iter` corresponds to the Python `__iter__()` method, while `tp_iternext` corresponds to the Python `__next__()` method.

Any *iterable* object must implement the `tp_iter` handler, which must return an *iterator* object. Here the same guidelines apply as for Python classes:

- For collections (such as lists and tuples) which can support multiple independent iterators, a new iterator should be created and returned by each call to `tp_iter`.
- Objects which can only be iterated over once (usually due to side effects of iteration, such as file objects) can implement `tp_iter` by returning a new reference to themselves -- and should also therefore implement the `tp_iternext` handler.

Any *iterator* object should implement both `tp_iter` and `tp_iternext`. An iterator's `tp_iter` handler should return a new reference to the iterator. Its `tp_iternext` handler should return a new reference to the next object in the iteration, if there is one. If the iteration has reached the end, `tp_iternext` may return NULL without setting an exception, or it may set `StopIteration` *in addition* to returning NULL; avoiding the exception can yield slightly better performance. If an actual error occurs, `tp_iternext` should always set an exception and return NULL.

2.3.6 Weak Reference Support

One of the goals of Python's weak reference implementation is to allow any type to participate in the weak reference mechanism without incurring the overhead on performance-critical objects (such as numbers).

也参考:

Documentation for the `weakref` module.

For an object to be weakly referencable, the extension type must do two things:

1. Include a `PyObject*` field in the C object structure dedicated to the weak reference mechanism. The object's constructor should leave it NULL (which is automatic when using the default `tp_alloc`).
2. Set the `tp_weaklistoffset` type member to the offset of the aforementioned field in the C object structure, so that the interpreter knows how to access and modify that field.

Concretely, here is how a trivial object structure would be augmented with the required field:

```
typedef struct {
    PyObject_HEAD
    PyObject *weakreflist; /* List of weak references */
} TrivialObject;
```

And the corresponding member in the statically-declared type object:

```
static PyTypeObject TrivialType = {
    PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
    /* ... other members omitted for brevity ... */
    .tp_weaklistoffset = offsetof(TrivialObject, weakreflist),
};
```

The only further addition is that `tp_dealloc` needs to clear any weak references (by calling `PyObject_ClearWeakRefs()`) if the field is non-NULL:

```
static void
Trivial_dealloc(TrivialObject *self)
{
    /* Clear weakrefs first before calling any destructors */
    if (self->weakreflist != NULL)
        PyObject_ClearWeakRefs((PyObject *) self);
    /* ... remainder of destruction code omitted for brevity ... */
}
```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```
Py_TYPE(self)->tp_free((PyObject *) self);
}
```

2.3.7 更多建议

In order to learn how to implement any specific method for your new data type, get the *CPython* source code. Go to the `Objects` directory, then search the C source files for `tp_` plus the function you want (for example, `tp_richcompare`). You will find examples of the function you want to implement.

When you need to verify that an object is a concrete instance of the type you are implementing, use the `PyObject_TypeCheck()` function. A sample of its use might be something like the following:

```
if (!PyObject_TypeCheck(some_object, &MyType)) {
    PyErr_SetString(PyExc_TypeError, "arg #1 not a mything");
    return NULL;
}
```

也参考:

下载 CPython 源代码版本。 <https://www.python.org/downloads/source/>

GitHub 上开发 CPython 源代码的 CPython 项目。 <https://github.com/python/cpython>

2.4 构建 C/C++ 扩展

一个 CPython 的 C 扩展是一个共享库 (例如一个 Linux 上的 `.so`, 或者 Windows 上的 `.pyd`), 其会导出一个 初始化函数。

为了可导入, 共享库必须在 `PYTHONPATH` 中有效, 且必须命名遵循模块名字, 通过适当的扩展。当使用 `distutils` 时, 会自动生成正确的文件名。

初始化函数的声明如下:

`PyObject* PyInit_modulename (void)`

该函数返回完整初始化过的模块, 或一个 `PyModuleDef` 实例。查看 `initializing-modules` 了解更多细节。

对于仅有 ASCII 编码的模块名, 函数必须是 `PyInit_<modulename>`, 将 `<modulename>` 替换为模块的名字。当使用 `multi-phase-initialization` 时, 允许使用非 ASCII 编码的模块名。此时初始化函数的名字是 `PyInitU_<modulename>`, 而 `<modulename>` 需要用 Python 的 *punycode* 编码, 连字号需替换为下划线。在 Python 里:

```
def initfunc_name(name):
    try:
        suffix = b'_' + name.encode('ascii')
    except UnicodeEncodeError:
        suffix = b'U_' + name.encode('punycode').replace(b'-', b'_')
    return b'PyInit' + suffix
```

可以在一个动态库里导出多个模块, 通过定义多个初始化函数。而导入他们需要符号链接或自定义导入器, 因为缺省时只有对应了文件名的函数才会被发现。查看 “一个库里的多模块” 章节, 在 [PEP 489](#) 了解更多细节。

2.4.1 使用 distutils 构建 C 和 C++ 扩展

扩展模块可以用 distutils 来构建，这是 Python 自带的。distutils 也支持创建二进制包，用户无需编译器而 distutils 就能安装扩展。

一个 distutils 包包含了一个驱动脚本 setup.py。这是个纯 Python 文件，大多数时候也很简单，看起来如下：

```
from distutils.core import setup, Extension

module1 = Extension('demo',
                    sources = ['demo.c'])

setup (name = 'PackageName',
      version = '1.0',
      description = 'This is a demo package',
      ext_modules = [module1])
```

通过文件 setup.py，和文件 demo.c，运行如下

```
python setup.py build
```

这会编译 demo.c，然后产生一个扩展模块叫做 demo 在目录 build 里。依赖于系统，模块文件会放在某个子目录形如 build/lib.system，名字可能是 demo.so 或 demo.pyd。

在文件 setup.py 里，所有动作的入口通过 setup 函数。该函数可以接受可变数量个关键字参数，上面的例子只使用了一个子集。特别需要注意的例子指定了构建包的元信息，以及指定了包内容。通常一个包会包括多个模块，就像 Python 的源码模块、文档、子包等。请参数 distutils 的文档，在 distutils-index 来了解更多 distutils 的特性；本章节只解释构建扩展模块的部分。

通常预计算参数给 setup()，想要更好的结构化驱动脚本。有如如上例子函数 setup() 的 ext_modules 参数是一列扩展模块，每个是一个 Extension 类的实例。例子中的实例定义了扩展命名为 demo，从单一源码文件构建 demo.c。

更多时候，构建一个扩展会复杂的多，需要额外的预处理器定义和库。如下例子展示了这些。

```
from distutils.core import setup, Extension

module1 = Extension('demo',
                    define_macros = [('MAJOR_VERSION', '1'),
                                     ('MINOR_VERSION', '0')],
                    include_dirs = ['/usr/local/include'],
                    libraries = ['tcl83'],
                    library_dirs = ['/usr/local/lib'],
                    sources = ['demo.c'])

setup (name = 'PackageName',
      version = '1.0',
      description = 'This is a demo package',
      author = 'Martin v. Loewis',
      author_email = 'martin@v.loewis.de',
      url = 'https://docs.python.org/extending/building',
      long_description = '''
This is really just a demo package.
''',
      ext_modules = [module1])
```

例子中函数 setup() 在调用时额外传递了元信息，是推荐发布包构建时的内容。对于这个扩展，其指定了预处理器定义，include 目录，库目录，库。依赖于编译器，distutils 还会用其他方式传递信息给编译器。例如在 Unix 上，结果是如下编译命令

```
gcc -DNDEBUG -g -O3 -Wall -Wstrict-prototypes -fPIC -DMAJOR_VERSION=1 -DMINOR_
↪VERSION=0 -I/usr/local/include -I/usr/local/include/python2.2 -c demo.c -o build/
↪temp.linux-i686-2.2/demo.o

gcc -shared build/temp.linux-i686-2.2/demo.o -L/usr/local/lib -ltcl83 -o build/lib.
↪linux-i686-2.2/demo.so
```

这些行代码仅用于展示目的；distutils 用户应该相信 distutils 能正确调用。

2.4.2 发布你的扩展模块

当一个扩展已经成功地被构建时，有三种方式来使用它。

最终用户通常想要安装模块，可以这么运行

```
python setup.py install
```

模块维护者应该制作源码包；要实现可以运行

```
python setup.py sdist
```

有些情况下，需要在源码发布包里包含额外的文件；这通过 MANIFEST.in 文件实现，查看 manifest 了解细节。

如果源码发行包被成功地构建，维护者还可以创建二进制发行包。取决于具体平台，以下命令中的一个可以用来完成此任务

```
python setup.py bdist_wininst
python setup.py bdist_rpm
python setup.py bdist_dumb
```

2.5 在 Windows 上构建 C 和 C++ 扩展

这一章简要介绍了如何使用 Microsoft Visual C++ 创建 Python 的 Windows 扩展模块，然后再提供有关其工作机理的详细背景信息。这些说明材料同时适用于 Windows 程序员学习构建 Python 扩展以及 Unix 程序员学习如何生成在 Unix 和 Windows 上均能成功构建的软件。

鼓励模块作者使用 distutils 方式来构建扩展模块，而不使用本节所描述的方式。你仍将需要使用 C 编译器来构建 Python；通常为 Microsoft Visual C++。

備註：这一章提及了多个包括已编码 Python 版本号的文件名。这些文件名以显示为 XY 的版本号来代表；在实践中，'X' 将为你所使用的 Python 发布版的主版本号而 'Y' 将为次版本号。例如，如果你所使用的是 Python 2.2.1，XY 将为 22。

2.5.1 菜谱式说明

在 Windows 和 Unix 上构建扩展模块都有两种方式：使用 distutils 包来控制构建过程，或者全手动操作。distutils 方式适用于大多数扩展；使用 distutils 构建和打包扩展模块的文档见 distutils-index。如果你发现你确实需要手动操作，那么研究一下 winsound 标准库模块的项目文件可能会很有帮助。

2.5.2 Unix 和 Windows 之间的差异

Unix 和 Windows 对于代码的运行时加载使用了完全不同的范式。在你尝试构建可动态加载的模块之前，要先了解你所用系统是如何工作的。

在 Unix 中，一个共享对象 (.so) 文件中包含将由程序来使用的代码，也包含在程序中可被找到的函数名称和数据。当文件被合并到程序中时，对在文件代码中这些函数和数据的全部引用都会被改为指向程序中函数和数据在内存中所放置的实际位置。这基本上是一个链接操作。

在 Windows 中，一个动态链接库 (.dll) 文件中没有悬挂的引用。而是通过一个查找表执行对函数或数据的访问。因此在运行时 DLL 代码不必在运行时进行修改；相反地，代码已经使用了 DLL 的查找表，并且在运行时查找表会被修改以指向特定的函数和数据。

在 Unix 中，只存在一种库文件 (.a)，它包含来自多个对象文件 (.o) 的代码。在创建共享对象文件 (.so) 的链接阶段，链接器可能会发现它不知道某个标识符是在哪里定义的。链接器将在各个库的对象文件中查找它；如果找到了它，链接器将会包括来自该对象文件的所有代码。

在 Windows 中，存在两种库类型，静态库和导入库 (扩展名都是 .lib)。静态库类似于 Unix 的 .a 文件；它包含在必要时可被包括的代码。导入库基本上仅用于让链接器能确保特定标识符是合法的，并且将在 DLL 被加载时出现于程序中。这样链接器可使用来自导入库的信息构建查找表以便使用未包括在 DLL 中的标识符。当一个应用程序或 DLL 被链接时，可能会生成一个导入库，它将需要被用于应用程序或 DLL 中未来所有依赖于这些符号的 DLL。

假设你正在编译两个动态加载模块 B 和 C，它们应当共享另一个代码块 A。在 Unix 上，你不应将 A.a 传给链接器作为 B.so 和 C.so；那会导致它被包括两次，这样 B 和 C 将分别拥有它们自己的副本。在 Windows 上，编译 A.dll 将同时编译 A.lib。你应当将 A.lib 传给链接器用于 B 和 C。A.lib 并不包含代码；它只包含将在运行时被用于访问 A 的代码的信息。

在 Windows 上，使用导入库有点像是使用 `import spam`；它让你可以访问 `spam` 中的名称，但并不会创建一个单独副本。在 Unix 上，链接到一个库更像是 `from spam import *`；它会创建一个单独副本。

2.5.3 DLL 的实际使用

Windows Python is built in Microsoft Visual C++; using other compilers may or may not work. The rest of this section is MSVC++ specific.

当在 Windows 中创建 DLL 时，你必须将 `pythonXY.lib` 传给链接器。要编译两个 DLL，`spam` 和 `ni` (会使用 `spam` 中找到的 C 函数)，你应当使用以下命令：

```
cl /LD /I/python/include spam.c ../libs/pythonXY.lib
cl /LD /I/python/include ni.c spam.lib ../libs/pythonXY.lib
```

第一条命令创建了一个文件: `spam.obj`, `spam.dll` 和 `spam.lib`。`Spam.dll` 不包含任何 Python 函数 (例如 `PyArg_ParseTuple()`)，但它通过 `pythonXY.lib` 可以知道如何找到所需的 Python 代码。

第二条命令创建了一个 `ni.dll` (以及 `.obj` 和 `.lib`)，它知道如何从 `spam` 以及 Python 可执行文件中找到所需的函数。

不是每个标识符都会被导出到查找表。如果你想要任何其他模块 (包括 Python) 都能看到你的标识符，你必须写上 `_declspec(dllexport)`，就如在 `void _declspec(dllexport) initspam(void)` 或 `PyObject _declspec(dllexport) *NiGetSpamData(void)` 中一样。

Developer Studio 将加入大量你并不真正需要的导入库，使你的可执行文件大小增加 100K。要摆脱它们，请使用项目设置对话框的链接选项卡指定忽略默认库。将正确的 `msvcrtxx.lib` 添加到库列表中。

在更大的應用程式中嵌入 CPython 運行環境 (runtime)

有時候，相較於建立一個擴充，使其在 Python 直譯器中可作主應用程式運行，還不如將 CPython 運行環境嵌入至一個更大的應用程式中更可取。本節將涵蓋一些要成功完成此任務所涉及的細節。

3.1 在其它 App 嵌入 Python

前几章讨论了如何对 Python 进行扩展，也就是如何用 C 函数库扩展 Python 的功能。反过来也是可以的：将 Python 嵌入到 C/C++ 应用程序中丰富其功能。这种嵌入可以让应用程序用 Python 来实现某些功能，而不是用 C 或 C++。用途会有很多；比如允许用户用 Python 编写一些脚本，以便定制应用程序满足需求。如果某些功能用 Python 编写起来更为容易，那么开发人员自己也能这么干。

Python 的嵌入类似于扩展，但不完全相同。不同之处在于，扩展 Python 时应用程序的主程序仍然是 Python 解释器，而嵌入 Python 时的主程序可能与 Python 完全无关——而是应用程序的某些部分偶尔会调用 Python 解释器来运行一些 Python 代码。

因此，若要嵌入 Python，就要提供自己的主程序。此主程序要做的事情之一就是初始化 Python 解释器。至少得调用函数 `Py_Initialize()`。还有些可选的调用可向 Python 传递命令行参数。之后即可从应用程序的任何地方调用解释器了。

调用解释器的方式有好几种：可向 `PyRun_SimpleString()` 传入一个包含 Python 语句的字符串，也可向 `PyRun_SimpleFile()` 传入一个 `stdio` 文件指针和一个文件名（仅在错误信息中起到识别作用）。还可以调用前面介绍过的底层操作来构造并使用 Python 对象。

也参考：

c-api-index 本文详细介绍了 Python 的 C 接口。这里有大量必要的信息。

3.1.1 高层次的嵌入

最简单的 Python 嵌入形式就是采用非常高层的接口。该接口的目标是只执行一段 Python 脚本，而无需与应用程序直接交互。比如以下代码可以用来对某个文件进行一些操作。

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>

int
main(int argc, char *argv[])
{
    wchar_t *program = Py_DecodeLocale(argv[0], NULL);
    if (program == NULL) {
        fprintf(stderr, "Fatal error: cannot decode argv[0]\n");
        exit(1);
    }
    Py_SetProgramName(program); /* optional but recommended */
    Py_Initialize();
    PyRun_SimpleString("from time import time,ctime\n"
                      "print('Today is', ctime(time()))\n");
    if (Py_FinalizeEx() < 0) {
        exit(120);
    }
    PyMem_RawFree(program);
    return 0;
}
```

在 `Py_Initialize()` 之前，应该先调用 `Py_SetProgramName()` 函数，以便向解释器告知 Python 运行库的路径。接下来，`Py_Initialize()` 会初始化 Python 解释器，然后执行硬编码的 Python 脚本，打印出日期和时间。之后，调用 `Py_FinalizeEx()` 关闭解释器，程序结束。在真实的程序中，可能需要从其他来源获取 Python 脚本，或许是从文本编辑器例程、文件，或者某个数据库。利用 `PyRun_SimpleFile()` 函数可以更好地从文件中获取 Python 代码，可省去分配内存空间和加载文件内容的麻烦。

3.1.2 突破高层次嵌入的限制：概述

高级接口能从应用程序中执行任何 Python 代码，但至少交换数据可说是相当麻烦的。如若需要交换数据，应使用较低级别的调用。几乎可以实现任何功能，代价是得写更多的 C 代码。

应该注意，尽管意图不同，但扩展 Python 和嵌入 Python 的过程相当类似。前几章中讨论的大多数主题依然有效。为了说明这一点，不妨来看一下从 Python 到 C 的扩展代码到底做了什么：

1. 转换 Python 的数据值到 C，
2. 用转换后的数据执行 C 程序的函数调用，以及
3. 将调用返回的数据从 C 转换为 Python 格式。

嵌入 Python 时，接口代码会这样做：

1. 转换 C 的数据值到 Python，
2. 用转换后的数据执行对 Python 接口的函数调用，
3. 将调用返回的数据从 Python 转换为 C 格式。

可见只是数据转换的步骤交换了一下顺序，以顺应跨语言的传输方向。唯一的区别是在两次数据转换之间调用的函数不同。在执行扩展时，调用一个 C 函数，而执行嵌入时调用的是个 Python 函数。

本文不会讨论如何将数据从 Python 转换到 C 去，反之亦然。另外还假定读者能够正确使用引用并处理错误。由于这些地方与解释器的扩展没有区别，请参考前面的章节以获得所需的信息。

3.1.3 纯嵌入

第一个程序的目标是执行 Python 脚本中的某个函数。就像高层次接口那样，Python 解释器并不会直接与应用程序进行交互（但下一节将改变这一点）。

要运行 Python 脚本中定义的函数，代码如下：

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>

int
main(int argc, char *argv[])
{
    PyObject *pName, *pModule, *pFunc;
    PyObject *pArgs, *pValue;
    int i;

    if (argc < 3) {
        fprintf(stderr, "Usage: call pythonfile funcname [args]\n");
        return 1;
    }

    Py_Initialize();
    pName = PyUnicode_DecodeFSDefault(argv[1]);
    /* Error checking of pName left out */

    pModule = PyImport_Import(pName);
    Py_DECREF(pName);

    if (pModule != NULL) {
        pFunc = PyObject_GetAttrString(pModule, argv[2]);
        /* pFunc is a new reference */

        if (pFunc && PyCallable_Check(pFunc)) {
            pArgs = PyTuple_New(argc - 3);
            for (i = 0; i < argc - 3; ++i) {
                pValue = PyLong_FromLong(atoi(argv[i + 3]));
                if (!pValue) {
                    Py_DECREF(pArgs);
                    Py_DECREF(pModule);
                    fprintf(stderr, "Cannot convert argument\n");
                    return 1;
                }
                /* pValue reference stolen here: */
                PyTuple_SetItem(pArgs, i, pValue);
            }
            pValue = PyObject_CallObject(pFunc, pArgs);
            Py_DECREF(pArgs);
            if (pValue != NULL) {
                printf("Result of call: %ld\n", PyLong_AsLong(pValue));
                Py_DECREF(pValue);
            }
            else {
                Py_DECREF(pFunc);
                Py_DECREF(pModule);
                PyErr_Print();
                fprintf(stderr, "Call failed\n");
                return 1;
            }
        }
        else {
            if (PyErr_Occurred())
```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```

        PyErr_Print();
        fprintf(stderr, "Cannot find function \"%s\"\n", argv[2]);
    }
    Py_XDECREF(pFunc);
    Py_DECREF(pModule);
}
else {
    PyErr_Print();
    fprintf(stderr, "Failed to load \"%s\"\n", argv[1]);
    return 1;
}
if (Py_FinalizeEx() < 0) {
    return 120;
}
return 0;
}

```

上述代码先利用 `argv[1]` 加载 Python 脚本，再调用 `argv[2]` 指定的函数。函数的整数参数是 `argv` 数组中的其余值。如果编译并链接该程序（此处将最终的可执行程序称作 **call**），并用它执行一个 Python 脚本，例如：

```

def multiply(a,b):
    print("Will compute", a, "times", b)
    c = 0
    for i in range(0, a):
        c = c + b
    return c

```

然后结果应该是：

```

$ call multiply multiply 3 2
Will compute 3 times 2
Result of call: 6

```

尽管相对其功能而言，该程序体积相当庞大，但大部分代码是用于 Python 和 C 之间的数据转换，以及报告错误。嵌入 Python 的有趣部分从此开始：

```

Py_Initialize();
pName = PyUnicode_DecodeFSDefault(argv[1]);
/* Error checking of pName left out */
pModule = PyImport_Import(pName);

```

初始化解释器之后，则用 `PyImport_Import()` 加载脚本。此函数的参数需是个 Python 字符串，一个用 `PyUnicode_FromString()` 数据转换函数构建的字符串。

```

pFunc = PyObject_GetAttrString(pModule, argv[2]);
/* pFunc is a new reference */

if (pFunc && PyCallable_Check(pFunc)) {
    ...
}
Py_XDECREF(pFunc);

```

脚本一旦加载完毕，就会用 `PyObject_GetAttrString()` 查找属性名称。如果名称存在，并且返回的是可调用对象，即可安全地视其为函数。然后程序继续执行，照常构建由参数组成的元组。然后用以下方式调用 Python 函数：

```

pValue = PyObject_CallObject(pFunc, pArgs);

```

当函数返回时，`pValue` 要么为 `NULL`，要么包含对函数返回值的引用。请确保用完释放该引用。

3.1.4 对嵌入 Python 功能进行扩展

到目前为止，嵌入的 Python 解释器还不能访问应用程序本身的功能。Python API 通过扩展嵌入解释器实现了这一点。也就是说，用应用程序提供的函数对嵌入的解释器进行扩展。虽然听起来有些复杂，但也没那么糟糕。只要暂时忘记是应用程序启动了 Python 解释器。而把应用程序看作是一堆子程序，然后写一些胶水代码让 Python 访问这些子程序，就像编写普通的 Python 扩展程序一样。例如：

```
static int numargs=0;

/* Return the number of arguments of the application command line */
static PyObject*
emb_numargs(PyObject *self, PyObject *args)
{
    if(!PyArg_ParseTuple(args, ":numargs"))
        return NULL;
    return PyLong_FromLong(numargs);
}

static PyMethodDef EmbMethods[] = {
    {"numargs", emb_numargs, METH_VARARGS,
     "Return the number of arguments received by the process."},
    {NULL, NULL, 0, NULL}
};

static PyModuleDef EmbModule = {
    PyModuleDef_HEAD_INIT, "emb", NULL, -1, EmbMethods,
    NULL, NULL, NULL, NULL
};

static PyObject*
PyInit_emb(void)
{
    return PyModule_Create(&EmbModule);
}
```

在 main() 函数之前插入上述代码。并在调用 Py_Initialize() 之前插入以下两条语句：

```
numargs = argc;
PyImport_AppendInittab("emb", &PyInit_emb);
```

这两行代码初始化了 numargs 变量，并让 emb.numargs() 函数能被嵌入的 Python 解释器访问到。有了这些扩展，Python 脚本可以执行类似以下功能：

```
import emb
print("Number of arguments", emb.numargs())
```

在真实的应用程序中，这种方法将把应用的 API 暴露给 Python 使用。

3.1.5 在 C++ 中嵌入 Python

还可以将 Python 嵌入到 C++ 程序中去；确切地说，实现方式将取决于 C++ 系统的实现细节；一般需用 C++ 编写主程序，并用 C++ 编译器来编译和链接程序。不需要用 C++ 重新编译 Python 本身。

3.1.6 在类 Unix 系统中编译和链接

为了将 Python 解释器嵌入应用程序，找到正确的编译参数传给编译器（和链接器）并非易事，特别是因为 Python 加载的库模块是以 C 动态扩展（.so 文件）的形式实现的。

为了得到所需的编译器和链接器参数，可执行 `pythonX.Y-config` 脚本，它是在安装 Python 时生成的（也可能存在 `python3-config` 脚本）。该脚本有几个参数，其中以下几个参数会直接有用：

- `pythonX.Y-config --cflags` 将给出建议的编译参数。

```
$ /opt/bin/python3.4-config --cflags
-I/opt/include/python3.4m -I/opt/include/python3.4m -DNDEBUG -g -fwrapv -O3 -
-Wall -Wstrict-prototypes
```

- `pythonX.Y-config --ldflags` 将给出建议的链接参数。

```
$ /opt/bin/python3.4-config --ldflags
-L/opt/lib/python3.4/config-3.4m -lpthread -ldl -lutil -lm -lpthon3.4m -
-Xlinker -export-dynamic
```

備註：为了避免多个 Python 安装版本引发混乱（特别是在系统安装版本和自己编译版本之间），建议用 `pythonX.Y-config` 指定绝对路径，如上例所述。

如果上述方案不起作用（不能保证对所有 Unix 类平台都生效；欢迎提出 bug 报告），就得阅读系统关于动态链接的文档，并检查 Python 的 Makefile（用 `sysconfig.get_makefile_filename()` 找到所在位置）和编译参数。这时 `sysconfig` 模块会是个有用的工具，可用编程方式提取需组合在一起的配置值。比如：

```
>>> import sysconfig
>>> sysconfig.get_config_var('LIBS')
'-lpthread -ldl -lutil'
>>> sysconfig.get_config_var('LINKFORSHARED')
'-Xlinker -export-dynamic'
```

術語表

>>> 互動式 shell 的預設 Python 提示字元。常見於能在直譯器中以互動方式被執行的程式碼範例。

... 可以表示：

- 在一個被縮排的程式碼區塊、在一對匹配的左右定界符 (delimiter, 例如括號、方括號、花括號或三引號) 內部, 或是在指定一個裝飾器 (decorator) 之後, 要輸入程式碼時, 互動式 shell 顯示的預設 Python 提示字元。
- 建立常數 Ellipsis。

2to3 一個試著將 Python 2.x 程式碼轉換成 Python 3.x 程式碼的工具, 它是透過處理大部分的不相容性來達成此目的, 而這些不相容性能透過剖析原始碼和遍歷剖析樹而被檢測出來。

2to3 在標準函式庫中以 `lib2to3` 被使用; 它提供了一個獨立的入口點, 在 `Tools/scripts/2to3`。請參閱 [2to3-reference](#)。

abstract base class (抽象基底類) 抽象基底類 (又稱 ABC) 提供了一種定義介面的方法, 作為 [duck-typing](#) (鴨子型) 的補充。其他類似的技術, 像是 `hasattr()`, 則顯得笨拙或是帶有細微的錯誤 (例如使用魔術方法 (magic method))。ABC 用擬定的 subclass (子類), 它們不繼承自另一個 class (類), 但仍可被 `isinstance()` 及 `issubclass()` 辨識; 請參閱 `abc` 模組的說明文件。Python 有許多建立的 ABC, 用於資料結構 (在 `collections.abc` 模組)、數字 (在 `numbers` 模組)、串流 (在 `io` 模組) 及 import 尋檢器和載入器 (在 `importlib.abc` 模組)。你可以使用 `abc` 模組建立自己的 ABC。

annotation (註釋) 一個與變數、class 屬性、函式的參數或回傳值相關聯的標記。照慣例, 它被用來作 [type hint](#) (型提示)。

在運行時 (runtime), 區域變數的註釋無法被存取, 但全域變數、class 屬性和函式的註釋, 會分別被儲存在模組、class 和函式的 `__annotations__` 特殊屬性中。

請參閱 [variable annotation](#)、[function annotation](#)、[PEP 484](#) 和 [PEP 526](#), 這些章節皆有此功能的說明。

argument (引數) 呼叫函式時被傳遞給 [function](#) (或 [method](#)) 的值。引數有兩種：

- 關鍵字引數 (*keyword argument*): 在函式呼叫中, 以識字元 (identifier, 例如 `name=`) 開頭的引數, 或是以 `**` 後面 dictionary (字典) 的值被傳遞的引數。例如, 3 和 5 都是以下 `complex()` 呼叫中的關鍵字引數：

```
complex(real=3, imag=5)
complex(**{'real': 3, 'imag': 5})
```

- 位置引數 (*positional argument*): 不是關鍵字引數的引數。位置引數可在一個引數列表的起始處出現, 和 (或) 作 `*` 之後的 *iterable* (可代物件) 中的元素被傳遞。例如, 3 和 5 都是以下呼叫中的位置引數:

```
complex(3, 5)
complex(*(3, 5))
```

引數會被指定給函式主體中的附名區域變數。關於支配這個指定過程的規則, 請參 [calls](#) 章節。在語法上, 任何運算式都可以被用來表示一個引數; 其評估值會被指定給區域變數。

另請參術語表的 *parameter* (參數) 條目、常見問題中的引數和參數之間的差別, 以及 [PEP 362](#)。

asynchronous context manager (非同步情境管理器) 一個可以控制 `async with` 陳述式中所見環境的物件, 而它是透過定義 `__aenter__()` 和 `__aexit__()` method (方法) 來控制的。由 [PEP 492](#) 引入。

asynchronous generator (非同步生成器) 一個會回傳 *asynchronous generator iterator* (非同步生成器代器) 的函式。它看起來像一個以 `async def` 定義的協程函式 (*coroutine function*), 但不同的是它包含了 `yield` 運算式, 能生成一系列可用於 `async for` 圈的值。

這個術語通常用來表示一個非同步生成器函式, 但在某些情境中, 也可能是表示非同步生成器代器 (*asynchronous generator iterator*)。萬一想表達的意思不很清楚, 那就使用完整的術語, 以避免歧義。

一個非同步生成器函式可能包含 `await` 運算式, 以及 `async for` 和 `async with` 陳述式。

asynchronous generator iterator (非同步生成器代器) 一個由 *asynchronous generator* (非同步生成器) 函式所建立的物件。

這是一個 *asynchronous iterator* (非同步代器), 當它以 `__anext__()` method 被呼叫時, 會回傳一個可等待物件 (*awaitable object*), 該物件將執行非同步生成器的函式主體, 直到遇到下一個 `yield` 運算式。

每個 `yield` 會暫停處理程序, 記住位置執行狀態 (包括區域變數及擱置中的 `try` 陳述式)。當非同步生成器代器以另一個被 `__anext__()` 回傳的可等待物件有效地回復時, 它會從停止的地方繼續執行。請參 [PEP 492](#) 和 [PEP 525](#)。

asynchronous iterable (非同步可代物件) 一個物件, 它可以在 `async for` 陳述式中被使用。必須從它的 `__aiter__()` method 回傳一個 *asynchronous iterator* (非同步代器)。由 [PEP 492](#) 引入。

asynchronous iterator (非同步代器) 一個實作 `__aiter__()` 和 `__anext__()` method 的物件。`__anext__` 必須回傳一個 *awaitable* (可等待物件)。 `async for` 會解析非同步代器的 `__anext__()` method 所回傳的可等待物件, 直到它引發 `StopAsyncIteration` 例外。由 [PEP 492](#) 引入。

attribute (屬性) 一個與某物件相關聯的值, 該值能透過使用點分隔運算式 (*dotted expression*) 的名稱被參照。例如, 如果物件 `o` 有一個屬性 `a`, 則該屬性能以 `o.a` 被參照。

awaitable (可等待物件) 一個可以在 `await` 運算式中被使用的物件。它可以是一個 *coroutine* (協程), 或是一個有 `__await__()` method 的物件。另請參 [PEP 492](#)。

BDFL Benevolent Dictator For Life (終身仁慈獨裁者), 又名 [Guido van Rossum](#), Python 的創造者。

binary file (二進制檔案) 一個能讀取和寫入 *bytes-like objects* (類位元組串物件) 的 *file object* (檔案物件)。二進制檔案的例子有: 以二進制模式 ('rb', 'wb' 或 'rb+') 開的檔案、`sys.stdin.buffer`、`sys.stdout.buffer`, 以及 `io.BytesIO` 和 `gzip.GzipFile` 實例。

另請參 *text file* (文字檔案), 它是一個能讀取和寫入 `str` 物件的檔案物件。

bytes-like object (類位元組串物件) 一個支援 `bufferobjects` 且能匯出 *C-contiguous* 緩衝區的物件。這包括所有的 `bytes`、`bytearray` 和 `array.array` 物件, 以及許多常見的 `memoryview` 物件。類位元組串物件可用於處理二進制資料的各種運算; 這些運算包括壓縮、儲存至二進制檔案和透過 `socket` (插座) 發送。

有些運算需要二進制資料是可變的。明文文件通常會將這些物件稱「可讀寫的類位元組串物件」。可變緩衝區的物件包括 `bytearray`, 以及 `bytearray` 的 `memoryview`。其他的運算需要讓二進

制資料被儲存在不可變物件（「唯讀的類位元組串物件」）中；這些物件包括 `bytes`，以及 `bytes` 物件的 `memoryview`。

bytecode（位元組碼） Python 的原始碼會被編譯成位元組碼，它是 Python 程式在 CPython 直譯器中的☐部表示法。該位元組碼也會被暫存在 `.pyc` 檔案中，以便第二次執行同一個檔案時能☐更快速（可以不用從原始碼重新編譯☐位元組碼）。這種「中間語言 (intermediate language)」據☐是運行在一個 *virtual machine*（☐擬機器）上，該☐擬機器會執行與每個位元組碼對應的機器碼 (machine code)。要注意的是，位元組碼理論上是無法在不同的 Python ☐擬機器之間運作的，也不能在不同版本的 Python 之間保持穩定。

位元組碼的指令列表可以在 `dis` 模組的☐明文件中找到。

callback（回呼） 作☐引數被傳遞的一個副程式 (subroutine) 函式，會在未來的某個時間點被執行。

class（類☐） 一個用於建立使用者定義物件的模板。Class 的定義通常會包含 `method` 的定義，這些 `method` 可以在 `class` 的實例上進行操作。

class variable（類☐變數） 一個在 `class` 中被定義，且應該只能在 `class` 層次（意即不是在 `class` 的實例中）被修改的變數。

coercion（☐制轉型） 在涉及兩個不同型☐引數的操作過程中，將某一種型☐的實例☐☐另一種型☐的隱式轉☐ (implicit conversion) 過程。例如，`int(3.15)` 會將浮點數轉☐☐整數 3，但在 `3+4.5` 中，每個引數是不同的型☐（一個 `int`，一個 `float`），而這兩個引數必須在被轉☐☐相同的型☐之後才能相加，否則就會引發 `TypeError`。如果☐有☐制轉型，即使所有的引數型☐皆相容，它們都必須要由程式設計師正規化 (normalize) ☐相同的值，例如，要用 `float(3)+4.5` 而不能只是 `3+4.5`。

complex number（☐數） 一個我們熟悉的實數系統的擴充，在此所有數字都會被表示☐一個實部和一個☐部之和。☐數就是☐數單位（-1 的平方根）的實數倍，此單位通常在數學中被寫☐ `i`，在工程學中被寫☐ `j`。Python ☐建了對☐數的支援，它是用後者的記法來表示☐數；☐部會帶著一個後綴的 `j` 被編寫，例如 `3+1j`。若要將 `math` 模組☐的工具等效地用於☐數，請使用 `cmath` 模組。☐數的使用是一個相當進階的數學功能。如果你☐有察覺到對它們的需求，那☐幾乎能確定你可以安全地忽略它們。

context manager（情境管理器） 一個可以控制 `with` 陳述式中所見環境的物件，而它是透過定義 `__enter__()` 和 `__exit__()` `method` 來控制的。請參☐ [PEP 343](#)。

context variable（情境變數） 一個變數，其值可以根據上下文的情境而有所不同。這類似執行緒區域儲存區 (Thread-Local Storage)，在其中，一個變數在每個執行緒可能具有不同的值。然而，關於情境變數，在一個執行緒中可能會有多个情境，而情境變數的主要用途，是在☐行的非同步任務 (concurrent asynchronous task) 中，對於變數狀態的追☐。請參☐ `contextvars`。

contiguous（連續的） 如果一個緩衝區是 *C-contiguous* 或是 *Fortran contiguous*，則它會確切地被視☐是連續的。零維 (zero-dimensional) 的緩衝區都是 *C* 及 *Fortran contiguous*。在一維 (one-dimensional) 陣列中，各項目必須在記憶體中彼此相鄰地排列，而其索引順序是從零開始遞增。在多維的 (multidimensional) *C-contiguous* 陣列中，按記憶體位址的順序訪問各個項目時，最後一個索引的變化最快。然而，在 *Fortran contiguous* 陣列中，第一個索引的變化最快。

coroutine（協程） 協程是副程式 (subroutine) 的一種更☐廣義的形式。副程式是在某個時間點被進入☐在另一個時間點被退出。協程可以在許多不同的時間點被進入、退出和回復。它們能☐以 `async def` 陳述式被實作。另請參☐ [PEP 492](#)。

coroutine function（協程函式） 一個回傳 *coroutine*（協程）物件的函式。一個協程函式能以 `async def` 陳述式被定義，☐可能會包含 `await`、`async for` 和 `async with` 關鍵字。這些關鍵字由 [PEP 492](#) 引入。

CPython Python 程式語言的標準實作 (canonical implementation)，被發布在 [python.org](#) 上。「CPython」這個術語在必要時被使用，以區分此實作與其它語言的實作，例如 *Jython* 或 *IronPython*。

decorator（裝飾器） 一個函式，它會回傳另一個函式，通常它會使用 `@wrapper` 語法，被應用☐一種函式的變☐ (function transformation)。裝飾器的常見範例是 `classmethod()` 和 `staticmethod()`。

裝飾器語法只是語法糖。以下兩個函式定義在語義上是等效的：

```
def f(arg):
    ...
```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```
f = staticmethod(f)

@staticmethod
def f(arg):
    ...
```

Class 也存在相同的概念，但在那邊比較不常用。關於裝飾器的更多內容，請參閱函式定義和 class 定義的說明文件。

descriptor (描述器) 任何定義了 `__get__()`、`__set__()` 或 `__delete__()` method 的物件。當一個 class 屬性是一個描述器時，它的特殊連結行會在屬性查找時被觸發。通常，使用 `a.b` 來取得、設定或刪除某個屬性時，會在 `a` 的 class 字典中查找名稱 `b` 的物件，但如果 `b` 是一個描述器，則相對應的描述器 method 會被呼叫。對描述器的理解是深入理解 Python 的關鍵，因為它們是許多功能的基礎，這些功能包括函式、method、屬性 (property)、class method、狀態 method，以及對 super class (父類) 的參照。

關於描述器 method 的更多資訊，請參閱 descriptors 或描述器使用指南。

dictionary (字典) 一個關聯陣列 (associative array)，其中任意的鍵會被映射到值。鍵可以是任何帶有 `__hash__()` 和 `__eq__()` method 的物件。在 Perl 中被稱為雜項 (hash)。

dictionary comprehension (字典綜合運算) 一種緊密的方法，用來處理一個可迭代物件中的全部或部分元素，並將處理結果以一個字典回傳。`results = {n: n ** 2 for n in range(10)}` 會生成一個字典，它包含了鍵 `n` 映射到值 `n ** 2`。請參閱 comprehensions。

dictionary view (字典檢視) 從 `dict.keys()`、`dict.values()` 及 `dict.items()` 回傳的物件被稱為字典檢視。它們提供了字典中項目的動態檢視，這表示當字典有變動時，該檢視會反映這些變動。若要限制將字典檢視轉換為完整的 list (串列)，須使用 `list(dictview)`。請參閱 dict-views。

docstring (說明字串) 一個在 class、函式或模組中，作為第一個運算式出現的字串文本。雖然它在套件執行時會被忽略，但它會被編譯器辨識，並被放入所屬 class、函式或模組的 `__doc__` 屬性中。由於說明字串可以透過自省 (introspection) 來瀏覽，因此它是物件的說明文件存放的標準位置。

duck-typing (鴨子型) 一種程式設計風格，它不是藉由檢查一個物件的型別來確定它是否具有正確的介面；取而代之的是，method 或屬性會單純地被呼叫或使用。（「如果它看起來像一隻鴨子而且叫起來像一隻鴨子，那麼它一定是一隻鴨子。」）因為調介面而非特定型別，精心設計的程式碼能讓多形替代 (polymorphic substitution) 來增進它的靈活性。鴨子型要避免使用 `type()` 或 `isinstance()` 進行測試。（但是請注意，鴨子型可以用抽象基底類 (abstract base class) 來補充。）然而，它通常會用 `hasattr()` 測試，或是 EAFP 程式設計風格。

EAFP Easier to ask for forgiveness than permission. (請求寬恕比請求許可更容易。) 這種常見的 Python 編碼風格會先假設有效的鍵或屬性的存在，並在該假設被推翻時再捕獲例外。這種乾且快速的風格，其特色是存在許多的 try 和 except 陳述式。該技術與許多其他語言 (例如 C) 常見的 LBYL 風格形成了對比。

expression (運算式) 一段可以被評估為求值的語法。句話，一個運算式就是文字、名稱、屬性存取、運算子或函式呼叫等運算式元件的累積，而這些元件都能回傳一個值。與許多其他語言不同的是，並非所有的 Python 語言構造都是運算式。另外有一些 statement (陳述式) 不能被用作運算式，例如 while。賦值 (assignment) 也是陳述式，而不是運算式。

extension module (擴充模組) 一個以 C 或 C++ 編寫的模組，它使用 Python 的 C API 來與核心及使用者程式碼進行互動。

f-string (f 字串) 以 'f' 或 'F' 前綴的字串文本通常被稱為「f 字串」，它是格式化的字串文本的縮寫。另請參閱 PEP 498。

file object (檔案物件) 一個讓使用者透過檔案導向 (file-oriented) API (如 `read()` 或 `write()` 等 method) 來操作底層資源的物件。根據檔案物件被建立的方式，它能協調對真實磁碟檔案或是其他類型的儲存器或通訊裝置 (例如標準輸入 / 輸出、記憶體緩衝區、socket (插座)、管 (pipe) 等) 的存取。檔案物件也被稱為類檔案物件 (file-like object) 或串流 (stream)。

實際上，有三種檔案物件：原始的二進制檔案、緩衝的二進制檔案和文字檔案。它們的介面在 io 模組中被定義。建立檔案物件的標準方法是使用 `open()` 函式。

file-like object (類檔案物件) *file object* (檔案物件) 的同義字。

finder (尋檢器) 一個物件，它會嘗試正在被 import 的模組尋找 *loader* (載入器)。

從 Python 3.3 開始，有兩種類型的尋檢器：*元路徑尋檢器 (meta path finder)* 會使用 `sys.meta_path`，而 *路徑項目尋檢器 (path entry finder)* 會使用 `sys.path_hooks`。

請參 PEP 302、PEP 420 和 PEP 451 以了解更多細節。

floor division (向下取整除法) 向下無條件舍去到最接近整數的數學除法。向下取整除法的運算子是 `//`。例如，運算式 `11 // 4` 的計算結果是 2，與 `float` (浮點數) 真除法所回傳的 2.75 不同。請注意，`(-11) // 4` 的結果是 -3，因為是 -2.75 被向下無條件舍去。請參 PEP 238。

function (函式) 一連串的陳述式，它能向呼叫者回傳一些值。它也可以被傳遞零個或多個引數，這些引數可被使用於函式本體的執行。另請參 *parameter* (參數)、*method* (方法)，以及 *function* 章節。

function annotation (函式註釋) 函式參數或回傳值的一個 *annotation* (註釋)。

函式註釋通常被使用於型提示：例如，這個函式預期會得到兩個 `int` 引數，會有一個 `int` 回傳值：

```
def sum_two_numbers(a: int, b: int) -> int:
    return a + b
```

函式註釋的語法在 *function* 章節有詳細解釋。

請參 *variable annotation* 和 PEP 484，皆有此功能的描述。

__future__ future 陳述式 `from __future__ import <feature>`，會指示編譯器使用那些在 Python 未來的發布版本中將成標準的語法或語義，來編譯當前的模組。而 `__future__` 模組則記了 *feature* (功能) 可能的值。透過 import 此模組對其變數求值，你可以看見一個新的功能是何時首次被新增到此語言中，以及它何時將會 (或已經) 成預設的功能：

```
>>> import __future__
>>> __future__.division
_Feature((2, 2, 0, 'alpha', 2), (3, 0, 0, 'alpha', 0), 8192)
```

garbage collection (垃圾回收) 當記憶體不再被使用時，將其釋放的過程。Python 執行垃圾回收，是透過參照計數 (reference counting)，以及一個能檢測和中斷參照循環 (reference cycle) 的循環垃圾回收器 (cyclic garbage collector) 來完成。垃圾回收器可以使用 `gc` 模組對其進行控制。

generator (生成器) 一個會回傳 *generator iterator* (生成器代器) 的函式。它看起來像一個正常的函式，但不同的是它包含了 `yield` 運算式，能生成一系列的值，這些值可用於 `for` 圈，或是以 `next()` 函式，每次檢索其中的一個值。

這個術語通常用來表示一個生成器函式，但在某些情境中，也可能是表示生成器代器。萬一想表達的意思不清楚，那就使用完整的術語，以避免歧義。

generator iterator (生成器代器) 一個由 *generator* (生成器) 函式所建立的物件。

每個 `yield` 會暫停處理程序，記住位置執行狀態 (包括區域變數及擱置中的 `try` 陳述式)。當生成器代器回復時，它會從停止的地方繼續執行 (與那些每次調用時都要重新開始的函式有所不同)。

generator expression (生成器運算式) 一個會回傳代器的運算式。它看起來像一個正常的運算式，後面接著一個 `for` 子句，該子句定義了圈變數、範圍以及一個選擇性的 `if` 子句。該組合運算式會外層函數生成多個值：

```
>>> sum(i*i for i in range(10))           # sum of squares 0, 1, 4, ... 81
285
```

generic function (泛型函式) 一個由多個函式組成的函式，該函式會對不同的型實作相同的運算。呼叫期間應該使用哪種實作，是由調度演算法 (dispatch algorithm) 來定。

另請參 *single dispatch* (單一調度) 術語表條目、`functools.singledispatch()` 裝飾器和 PEP 443。

generic type (泛型型) A *type* that can be parameterized; typically a container class such as `list` or `dict`. Used for *type hints* and *annotations*.

For more details, see generic alias types, [PEP 483](#), [PEP 484](#), [PEP 585](#), and the `typing` module.

GIL 請參 [global interpreter lock](#) (全域直譯器鎖)。

global interpreter lock (全域直譯器鎖) CPython 直譯器所使用的機制，用以確保每次都只有一個執行緒能執行 Python 的 *bytecode* (位元組碼)。透過使物件模型 (包括關鍵的 [建型](#)，如 `dict`) 自動地避免 [行存取](#) (concurrent access) 的危險，此機制可以簡化 CPython 的實作。鎖定整個直譯器，會使直譯器更容易成 [多執行緒](#) (multi-threaded)，但代價是會犧牲掉多處理器的機器能 [提供](#) 的一大部分平行性 (parallelism)。

然而，有些擴充模組，無論是標準的或是第三方的，它們被設計成在執行壓縮或雜 [等計算密集](#) (computationally-intensive) 的任務時，可以解除 GIL。另外，在執行 I/O 時，GIL 總是會被解除。

過去對於建立「無限制執行緒」直譯器 (以更高的精細度鎖定共享資料的直譯器) 的努力 [未成功](#)，因 [在一般的單一處理器情](#) 下，效能會有所損失。一般認 [若](#)，若要克服這個效能問題，會使實作變得 [雜](#) 許多，進而付出更高的維護成本。

hash-based pyc (雜 [架構的 pyc](#)) 一個位元組碼 (bytecode) 暫存檔，它使用雜 [值](#) 而不是對應原始檔案的最後修改時間，來確定其有效性。請參 [pyc-invalidation](#)。

hashable (可雜 [的](#)) 如果一個物件有一個雜 [值](#)，該值在其生命 [期](#) 中永不改變 (它需要一個 `__hash__()` method)，且可與其他物件互相比較 (它需要一個 `__eq__()` method)，那 [它](#) 就是一個可雜 [物件](#)。比較結果 [相等](#) 的多個可雜 [物件](#)，它們必須擁有相同的雜 [值](#)。

可雜 [性](#) (hashability) 使一個物件可用作 dictionary (字典) 的鍵和 set (集合) 的成員，因 [這些資料結構都在其 \[部\]\(#\) 使用了雜 \[值\]\(#\)](#)。

大多數的 Python 不可變 [建物件](#) 都是可雜 [的](#)；可變的容器 (例如 `list` 或 `dictionary`) [不](#) 是；而不可變的容器 (例如 `tuple` (元組) 和 `frozenset`)，只有當它們的元素是可雜 [的](#)，它們本身才是可雜 [的](#)。若物件是使用者自定 `class` 的實例，則這些物件會被預設 [可雜 \[的\]\(#\)](#)。它們在互相比較時都是不相等的 (除非它們與自己比較)，而它們的雜 [值](#) 則是衍生自它們的 `id()`。

IDLE Python 的 Integrated Development Environment (整合開發環境)。IDLE 是一個基本的編輯器和直譯器環境，它和 Python 的標準發行版本一起被提供。

immutable (不可變物件) 一個具有固定值的物件。不可變物件包括數字、字串和 `tuple` (元組)。這類物件是不能被改變的。如果一個不同的值必須被儲存，則必須建立一個新的物件。它們在需要 [定雜 \[值\]\(#\)](#) 的地方，扮演重要的角色，例如 `dictionary` (字典) 中的一個鍵。

import path (匯入路徑) 一個位置 (或 [路徑項目](#)) 的列表，而那些位置就是在 `import` 模組時，會被 [path-based finder](#) (基於路徑的尋檢器) 搜尋模組的位置。在 `import` 期間，此位置列表通常是來自 `sys.path`，但對於子套件 (subpackage) 而言，它也可能是來自父套件的 `__path__` 屬性。

importing (匯入) 一個過程。一個模組中的 Python 程式碼可以透過此過程，被另一個模組中的 Python 程式碼使用。

importer (匯入器) 一個能 [尋找及載入](#) 模組的物件；它既是 [finder](#) (尋檢器) 也是 [loader](#) (載入器) 物件。

interactive (互動的) Python 有一個互動式直譯器，這表示你可以在直譯器的提示字元輸入陳述式和運算式，立即執行它們 [且](#) 看到它們的結果。只要 [動 python](#)，不需要任何引數 (可能藉由從你的電腦的主選單選擇它)。這是測試新想法或檢查模塊和包的非常 [大](#) 的方法 (請記住 `help(x)`)。

interpreted (直譯的) Python 是一種直譯語言，而不是編譯語言，不過這個區分可能有些模糊，因 [有](#) 位元組碼 (bytecode) 編譯器的存在。這表示原始檔案可以直接被運行，而不需明確地建立另一個執行檔，然後再執行它。直譯語言通常比編譯語言有更短的開發 / 除錯 [期](#)，不過它們的程式通常也運行得較慢。另請參 [interactive](#) (互動的)。

interpreter shutdown (直譯器關閉) 當 Python 直譯器被要求關閉時，它會進入一個特殊階段，在此它逐漸釋放所有被配置的資源，例如模組和各種關鍵 [部結構](#)。它也會多次呼叫 [垃圾回收器](#) (*garbage collector*)。這能 [觸發](#) 使用者自定的解構函式 (destructor) 或弱引用的回呼 (weakref callback)，[執行](#) 其中的程式碼。在關閉階段被執行的程式碼會遇到各種例外，因 [它所依賴的資源可能不再有作用了](#) (常見的例子是函式庫模組或是警告機制)。

直譯器關閉的主要原因，是 `__main__` 模組或正被運行的腳本已經執行完成。

iterable (可迭代物件) 一種能一次回傳一個其中成員的物件。可迭代物件的例子包括所有的序列型（像是 `list`、`str` 和 `tuple`）和某些非序列型，像是 `dict`、檔案物件，以及你所定義的任何 `class` 物件，只要那些 `class` 有 `__iter__()` method 或是實作 *Sequence*（序列）語意的 `__getitem__()` method，該物件就是可迭代物件。

可迭代物件可用於 `for` 圈和許多其他需要一個序列的地方（`zip()`、`map()`...）。當一個可迭代物件作引數被傳遞給建函式 `iter()` 時，它會該物件回傳一個迭代器。此迭代器適用於針對一組值進行一遍（one pass）運算。使用迭代器時，通常不一定要呼叫 `iter()` 或自行處理迭代器物件。`for` 陳述式會自動地你處理這些事，它會建立一個暫時性的未命名變數，用於在圈期間保有該迭代器。另請參 *iterator*（迭代器）、*sequence*（序列）和 *generator*（生成器）。

iterator (迭代器) 一個表示資料流的物件。重地呼叫迭代器的 `__next__()` method（或是將它傳遞給建函式 `next()`）會依序回傳資料流中的各項目。當不再有資料時，則會引發 `StopIteration` 例外。此時，該迭代器物件已被用盡，而任何對其 `__next__()` method 的進一步呼叫，都只會再次引發 `StopIteration`。迭代器必須有一個 `__iter__()` method，它會回傳迭代器物件本身，所以每個迭代器也都是可迭代物件，且可以用於大多數適用其他可迭代物件的場合。一個明顯的例外，是嘗試多遍迭代（multiple iteration passes）的程式碼。一個容器物件（像是 `list`）在每次你將它傳遞給 `iter()` 函式或在 `for` 圈中使用它時，都會生一個全新的迭代器。使用迭代器嘗試此事（多遍迭代）時，只會回傳在前一遍代中被用過的、同一個已被用盡的迭代器物件，使其看起來就像一個空的容器。

在 `typeiter` 文中可以找到更多資訊。

key function (鍵函式) 鍵函式或理序函式 (collation function) 是一個可呼叫 (callable) 函式，它會回傳一個用於排序 (sorting) 或定序 (ordering) 的值。例如，`locale.strxfrm()` 被用來生一個了解區域特定排序慣例的排序鍵。

Python 中的許多工具，都接受以鍵函式來控制元素被定序或分組的方式。它們包括 `min()`、`max()`、`sorted()`、`list.sort()`、`heapq.merge()`、`heapq.nsmallest()`、`heapq.nlargest()` 和 `itertools.groupby()`。

有幾種方法可以建立一個鍵函式。例如，`str.lower()` method 可以作不分大小寫排序的鍵函式。或者，一個鍵函式也可以從 `lambda` 運算式被建造，例如 `lambda r: (r[0], r[2])`。另外，`operator` 模組提供了三個鍵函式的建構函式 (constructor)：`attrgetter()`、`itemgetter()` 和 `methodcaller()`。關於如何建立和使用鍵函式的範例，請參如何排序。

keyword argument (關鍵字引數) 請參 *argument*（引數）。

lambda 由單一 *expression*（運算式）所組成的一個匿名行函式 (inline function)，於該函式被呼叫時求值。建立 `lambda` 函式的語法是 `lambda [parameters]: expression`。

LBYL Look before you leap.（三思而後行。）這種編碼風格會在進行呼叫或查找之前，明確地測試先條件。這種風格與 *EAFP* 方式形成對比，且它的特色是會有許多 `if` 陳述式的存在。

在一個多執行緒環境中，LBYL 方式有在「三思」和「後行」之間引入了競條件 (race condition) 的風險。例如以下程式碼 `if key in mapping: return mapping[key]`，如果另一個執行緒在測試之後但在查找之前，從 `mapping` 中移除了 `key`，則該程式碼就會失效。這個問題可以用鎖 (lock) 或使用 *EAFP* 編碼方式來解。

list (串列) 一個 Python 建的 *sequence*（序列）。管它的名字是 `list`，它其實更類似其他語言中的一個陣列 (array) 而較不像一個鏈結串列 (linked list)，因存取元素的時間複雜度是 $O(1)$ 。

list comprehension (串列綜合運算) 一種用來處理一個序列中的全部或部分元素，將處理結果以一個 `list` 回傳的簡要方法。`result = ['{:04x}'.format(x) for x in range(256) if x % 2 == 0]` 會生一個字串 `list`，其中包含 0 到 255 範圍，所有偶數的十六進位數 (0x...)。`if` 子句是選擇性的。如果省略它，則 `range(256)` 中的所有元素都會被處理。

loader (載入器) 一個能載入模組的物件。它必須定義一個名 `load_module()` 的 method（方法）。載入器通常是被 *finder*（尋檢器）回傳。更多細節請參 **PEP 302**，關於 *abstract base class*（抽象基底類），請參 `importlib.abc.Loader`。

magic method (魔術方法) *special method*（特殊方法）的一個非正式同義詞。

mapping (對映) 一個容器物件，它支援任意鍵的查找，且能實作 abstract base classes (抽象基底類) 中，Mapping 或 MutableMapping 所指定的 method。範例包括 dict、collections.defaultdict、collections.OrderedDict 和 collections.Counter。

meta path finder (元路徑尋檢器) 一種經由搜尋 sys.meta_path 而回傳的 finder (尋檢器)。元路徑尋檢器與路徑項目尋檢器 (path entry finder) 相關但是不同。

關於元路徑尋檢器實作的 method，請參 `importlib.abc.MetaPathFinder`。

metaclass (元類) 一種 class 的 class。Class 定義過程會建立一個 class 名稱、一個 class dictionary (字典)，以及一個 base class (基底類) 的列表。Metaclass 負責接受這三個引數，建立該 class。大多數的物件導向程式語言會提供一個預設的實作。Python 的特之處在於它能建立自訂的 metaclass。大部分的使用者從未需要此工具，但是當需要時，metaclass 可以提供大且優雅的解方案。它們已被用於記屬性存取、增加執行緒安全性、追物件建立、實作單例模式 (singleton)，以及許多其他的任務。

更多資訊可以在 metaclasses 章節中找到。

method (方法) 一個在 class 本體被定義的函式。如果 method 作其 class 實例的一個屬性被呼叫，則它將會得到該實例物件成它的第一個 argument (引數) (此引數通常被稱 self)。請參 function (函式) 和 nested scope (巢狀作用域)。

method resolution order (方法解析順序) 方法解析順序是在查找某個成員的過程中，base class (基底類) 被搜尋的順序。關於第 2.3 版至今，Python 直譯器所使用的演算法細節，請參 Python 2.3 版方法解析順序。

module (模組) 一個擔任 Python 程式碼的組織單位 (organizational unit) 的物件。模組有一個命名空間，它包含任意的 Python 物件。模組是藉由 importing 的過程，被載入至 Python。

另請參 package (套件)。

module spec (模組規格) 一個命名空間，它包含用於載入模組的 import 相關資訊。它是 importlib.machinery.ModuleSpec 的一個實例。

MRO 請參 method resolution order (方法解析順序)。

mutable (可變物件) 可變物件可以改變它們的值，但維持它們的 id()。另請參 immutable (不可變物件)。

named tuple (附名元組) 術語「named tuple (附名元組)」是指從 tuple 繼承的任何型或 class，且它的可索引 (indexable) 元素也可以用附名屬性來存取。這些型或 class 也可以具有其他的特性。

有些建型是 named tuple，包括由 time.localtime() 和 os.stat() 回傳的值。另一個例子是 sys.float_info:

```
>>> sys.float_info[1]           # indexed access
1024
>>> sys.float_info.max_exp      # named field access
1024
>>> isinstance(sys.float_info, tuple) # kind of tuple
True
```

有些 named tuple 是建型 (如上例)。或者，一個 named tuple 也可以從一個正規的 class 定義來建立，只要該 class 是繼承自 tuple，且定義了附名欄位 (named field) 即可。這類的 class 可以手工編寫，也可以使用工廠函式 (factory function) collections.namedtuple() 來建立。後者技術也增加了一些額外的 method，這些 method 可能是在手寫或建的 named tuple 中，無法找到的。

namespace (命名空間) 變數被儲存的地方。命名空間是以 dictionary (字典) 被實作。有區域的、全域的及建的命名空間，而在物件中 (在 method 中) 也有巢狀的命名空間。命名空間藉由防止命名衝突，來支援模組化。例如，函式 builtins.open 和 os.open() 是透過它們的命名空間來區分彼此。命名空間也藉由明確地區分是哪個模組在實作一個函式，來增進可讀性及可維護性。例如，寫出 random.seed() 或 itertools.islice() 明確地表示，這些函式分是由 random 和 itertools 模組在實作。

namespace package (命名空間套件) 一個 [PEP 420 package](#) (套件)，它只能作子套件 (subpackage) 的一個容器。命名空間套件可能沒有實體的表示法，而且具體來說它們不像是 [regular package](#) (正規套件)，因為它們沒有 `__init__.py` 這個檔案。

另請參閱 [module](#) (模組)。

nested scope (巢狀作用域) 能參照外層定義 (enclosing definition) 中的變數的能力。舉例來說，一個函式如果是在另一個函式中被定義，則它便能參照外層函式中的變數。請注意，在預設情況下，巢狀作用域僅適用於參照，而無法用於賦值。區域變數能在最內層作用域中讀取及寫入。同樣地，全域變數是在全域命名空間中讀取及寫入。`nonlocal` 容許對外層作用域進行寫入。

new-style class (新式類) 一個舊名，它是指現在所有的 class 物件所使用的 class 風格。在早期的 Python 版本中，只有新式 class 才能使用 Python 較新的、多樣的功能，像是 `__slots__`、描述器 (descriptor)、屬性 (property)、`__getattr__()`、class method (類方法) 和 static method (靜態方法)。

object (物件) 具有狀態 (屬性或值) 及被定義的行 (method) 的任何資料。它也是任何 [new-style class](#) (新式類) 的最終 base class (基底類)。

package (套件) 一個 Python 的 [module](#) (模組)，它可以包含子模組 (submodule) 或是遞歸的子套件 (subpackage)。技術上而言，套件就是具有 `__path__` 屬性的一個 Python 模組。

另請參閱 [regular package](#) (正規套件) 和 [namespace package](#) (命名空間套件)。

parameter (參數) 在 [function](#) (函式) 或 [method](#) 定義中的一個命名實體 (named entity)，它指明該函式能接受的一個 [argument](#) (引數)，或在某些情況下指示多個引數。共有五種不同的參數類型：

- *positional-or-keyword* (位置或關鍵字)：指明一個可以按照位置或是作關鍵字引數被傳遞的引數。這是參數的預設類型，例如以下的 *foo* 和 *bar*：

```
def func(foo, bar=None): ...
```

- *positional-only* (僅限位置)：指明一個只能按照位置被提供的引數。在函式定義的參數列表中包含一個 `/` 字元，就可以在該字元前面定義僅限位置參數，例如以下的 *posonly1* 和 *posonly2*：

```
def func(posonly1, posonly2, /, positional_or_keyword): ...
```

- *keyword-only* (僅限關鍵字)：指明一個只能以關鍵字被提供的引數。在函式定義的參數列表中，包含一個任意數量位置參數 (var-positional parameter) 或是單純的 `*` 字元，就可以在其後方定義僅限關鍵字參數，例如以下的 *kw_only1* 和 *kw_only2*：

```
def func(arg, *, kw_only1, kw_only2): ...
```

- *var-positional* (任意數量位置)：指明一串能以任意序列被提供的位置引數 (在已被其他參數接受的任何位置引數之外)。這類參數是透過在其參數名稱字首加上 `*` 來定義的，例如以下的 *args*：

```
def func(*args, **kwargs): ...
```

- *var-keyword* (任意數量關鍵字)：指明可被提供的任意數量關鍵字引數 (在已被其他參數接受的任何關鍵字引數之外)。這類參數是透過在其參數名稱字首加上 `**` 來定義的，例如上面範例中的 *kwargs*。

參數可以指明引數是選擇性的或必需的，也可以一些選擇性的引數指定預設值。

另請參閱術語表的 [argument](#) (引數) 條目、常見問題中的引數和參數之間的差別、`inspect.Parameter` class、[function](#) 章節，以及 [PEP 362](#)。

path entry (路徑項目) 在 [import path](#) (匯入路徑) 中的一個位置，而 [path based finder](#) (基於路徑的尋檢器) 會參考該位置來尋找要 import 的模組。

path entry finder (路徑項目尋檢器) 被 `sys.path_hooks` 中的一個可呼叫物件 (callable) (意即一個 [path entry hook](#)) 所回傳的一種 [finder](#)，它知道如何以一個 [path entry](#) 定位模組。

關於路徑項目尋檢器實作的 `method`，請參閱 `importlib.abc.PathEntryFinder`。

path entry hook (路徑項目) 在 `sys.path_hook` 列表中的一個可呼叫物件 (callable)，若它知道如何在一個特定的 *path entry* 中尋找模組，則會回傳一個 *path entry finder* (路徑項目尋檢器)。

path based finder (基於路徑的尋檢器) 預設的元路徑尋檢器 (*meta path finder*) 之一，它會在一個 *import path* 中搜尋模組。

path-like object (類路徑物件) 一個表示檔案系統路徑的物件。類路徑物件可以是一個表示路徑的 `str` 或 `bytes` 物件，或是一個實作 `os.PathLike` 協定的物件。透過呼叫 `os.fspath()` 函式，一個支援 `os.PathLike` 協定的物件可以被轉成 `str` 或 `bytes` 檔案系統路徑；而 `os.fsdecode()` 及 `os.fsencode()` 則分別可用於確保 `str` 及 `bytes` 的結果。由 **PEP 519** 引入。

PEP Python Enhancement Proposal (Python 增進提案)。PEP 是一份設計明文件，它能向 Python 社群提供資訊，或是描述 Python 的一個新功能或該功能的程序和環境。PEP 應該要提供簡潔的技術規範以及被提案功能的運作原理。

PEP 的存在目的，是要成為重大新功能的提案、社群中關於某個問題的意見收集，以及已納入 Python 的設計策略的記錄，這些過程的主要機制。PEP 的作者要負責在社群中建立共識並反對意見。

請參見 **PEP 1**。

portion (部分) 在單一目標中的一組檔案（也可能儲存在一個 zip 檔中），這些檔案能對一個命名空間套件 (namespace package) 有所貢獻，如同 **PEP 420** 中的定義。

positional argument (位置引數) 請參見 *argument* (引數)。

provisional API (暫行 API) 暫行 API 是指，從標準函式庫的向後相容性 (backwards compatibility) 保證中，故意被排除的 API。雖然此類介面，只要它們被標示為暫行的，理論上不會有重大的變更，但如果核心開發人員認為有必要，也可能會出現向後不相容的變更（甚至包括移除該介面）。這種變更不會無端地發生——只有 API 被納入之前未察覺的嚴重基本缺陷被揭露時，它們才會發生。

即使對於暫行 API，向後不相容的變更也會被視為「最後的解決方案」——對於任何被發現的問題，仍然會盡可能找出一個向後相容的解決方案。

這個過程使得標準函式庫能隨著時間不斷進化，而避免耗費過長的時間去鎖定有問題的設計錯誤。請參見 **PEP 411** 了解更多細節。

provisional package (暫行套件) 請參見 *provisional API* (暫行 API)。

Python 3000 Python 3.x 系列版本的暱稱（很久以前創造的，當時第 3 版的發布是在很遠的未來。）也可以縮寫為「Py3k」。

Pythonic (Python 風格的) 一個想法或一段程式碼，它應用了 Python 語言最常見的慣用語，而不是使用其他語言常見的概念來實作程式碼。例如，Python 中常見的一種習慣用法，是使用一個 `for` 陳述式，對一個可迭代物件的所有元素進行遍歷。許多其他語言也有這種類型的架構，所以不熟悉 Python 的人有時會使用一個數值計數器來代替：

```
for i in range(len(food)):
    print(food[i])
```

相較之下，以下方法更簡潔、更具有 Python 風格：

```
for piece in food:
    print(piece)
```

qualified name (限定名稱) 一個「點分隔名稱」，它顯示從一個模組的全域作用域到該模組中定義的 class、函式或 method 的「路徑」，如 **PEP 3155** 中的定義。對於頂層的函式和 class 而言，限定名稱與其物件名稱相同：

```
>>> class C:
...     class D:
...         def meth(self):
...             pass
...
>>> C.__qualname__
```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```
'C'
>>> C.D.__qualname__
'C.D'
>>> C.D.meth.__qualname__
'C.D.meth'
```

當用於引用模組時，完全限定名 (*fully qualified name*) 是表示該模組的完整點分隔路徑，包括任何的父套件，例如 `email.mime.text`：

```
>>> import email.mime.text
>>> email.mime.text.__name__
'email.mime.text'
```

reference count (參照計數) 對於一個物件的參照次數。當一個物件的參照計數下降到零時，它會被解除配置 (deallocated)。參照計數通常在 Python 程式碼中看不到，但它 [是 CPython 實作的一個關鍵元素](#)。sys 模組定義了一個 `getrefcount()` 函式，程序設計師可以呼叫該函式來回傳一個特定物件的參照計數。

regular package (正規套件) 一個傳統的 *package* (套件)，例如一個包含 `__init__.py` 檔案的目錄。

另請參 [namespace package](#) (命名空間套件)。

__slots__ 在 class 部的一個宣告，它藉由預先宣告實例屬性的空間，以及消除實例 dictionary (字典)，來節省記憶體。雖然該技術很普遍，但它有點難以正確地使用，最好保留給那種在一個記憶體關鍵 (memory-critical) 的應用程式中存在大量實例的罕見情。

sequence (序列) 一個 *iterable* (可代物件)，它透過 `__getitem__()` special method (特殊方法)，使用整數索引來支援高效率的元素存取，[定義了一個 `__len__\(\)` method](#) 來回傳該序列的長度。一些 [建序列型](#) 包括 list、str、tuple 和 bytes。請注意，雖然 dict 也支援 `__getitem__()` 和 `__len__()`，但它被視 [對映 \(mapping\)](#) 而不是序列，因其查找方式是使用任意的 *immutable* 鍵，而不是整數。

抽象基底類 (abstract base class) `collections.abc.Sequence` 定義了一個更加豐富的介面，[不僅止於 `__getitem__\(\)` 和 `__len__\(\)`，還增加了 `count\(\)`、`index\(\)`、`__contains__\(\)` 和 `__reversed__\(\)`](#)。實作此擴充介面的型，可以使用 `register()` 被明確地 [註冊](#)。

set comprehension (集合綜合運算) 一種緊密的方法，用來處理一個可代物件中的全部或部分元素，[將處理結果以一個 set 回傳](#)。results = {c for c in 'abracadabra' if c not in 'abc'} 會 [生一個字串 set](#)：{'r', 'd'}。請參 [comprehensions](#)。

single dispatch (單一調度) *generic function* (泛型函式) 調度的一種形式，在此，實作的選擇是基於單一引數的型。

slice (切片) 一個物件，它通常包含一段 *sequence* (序列) 的某一部分。建立一段切片的方法是使用下標符號 (subscript notation) “[”，若要給出多個數字，則在數字之間使用冒號，例如 `in variable_name[1:3:5]`。在括號 (下標) 符號的部，會使用 slice 物件。

special method (特殊方法) 一種會被 Python 自動呼叫的 method，用於對某種型執行某種運算，例如加法。這種 method 的名稱會在開頭和結尾有兩個下底。Special method 在 `specialnames` 中有詳細明。

statement (陳述式) 陳述式是一個套組 (suite，一個程式碼「區塊」) 中的一部分。陳述式可以是一個 *expression* (運算式)，或是含有關鍵字 (例如 if、while 或 for) 的多種結構之一。

text encoding (文字編碼) A string in Python is a sequence of Unicode code points (in range U+0000--U+10FFFF). To store or transfer a string, it needs to be serialized as a sequence of bytes.

Serializing a string into a sequence of bytes is known as “encoding”, and recreating the string from the sequence of bytes is known as “decoding”.

There are a variety of different text serialization codecs, which are collectively referred to as “text encodings”.

text file (文字檔案) 一個能讀取和寫入 str 物件的一個 *file object* (檔案物件)。通常，文字檔案實際上是存取位元組導向的資料流 (byte-oriented datastream) 會自動處理 *text encoding* (文字編碼)。

文字檔案的例子有：以文字模式（'r' 或 'w'）開的檔案、`sys.stdin`、`sys.stdout` 以及 `io.StringIO` 的實例。

另請參 [binary file](#)（二進制檔案），它是一個能讀取和寫入類位元組串物件 (*bytes-like object*) 的檔案物件。

triple-quoted string（三引號字串） 由三個雙引號（"）或單引號（'）的作邊界的一個字串。雖然它們有提供於單引號字串的任何額外功能，但基於許多原因，它們仍是很有用的。它們讓你可以在字串中包含未跳（unescaped）的單引號和雙引號，而且它們不需使用連續字元 (continuation character) 就可以跨越多行，這使得它們在編寫明字串時特別有用。

type（型） 一個 Python 物件的型定义了它是什麼類型的物件；每個物件都有一個型。一個物件的型可以用它的 `__class__` 屬性來存取，或以 `type(obj)` 來檢索。

type alias（型名） 一個型的同義詞，透過將型指定給一個識符 (identifier) 來建立。

型名對於簡化型提示 (*type hint*) 很有用。例如：

```
def remove_gray_shades(
    colors: list[tuple[int, int, int]]) -> list[tuple[int, int, int]]:
    pass
```

可以寫成這樣，更具有可讀性：

```
Color = tuple[int, int, int]

def remove_gray_shades(colors: list[Color]) -> list[Color]:
    pass
```

請參 [typing](#) 和 [PEP 484](#)，有此功能的描述。

type hint（型提示） 一種 *annotation*（釋），它指定一個變數、一個 class 屬性或一個函式的參數或回傳值的預期型。

型提示是選擇性的，而不是被 Python 制的，但它們對態型分析工具很有用，能協助 IDE 完成程式碼的補全 (completion) 和重構 (refactoring)。

全域變數、class 屬性和函式（不含區域變數）的型提示，都可以使用 `typing.get_type_hints()` 來存取。

請參 [typing](#) 和 [PEP 484](#)，有此功能的描述。

universal newlines（通用行字元） 一種解譯文字流 (text stream) 的方式，會將以下所有的情識一行行的結束：Unix 行尾慣例 '\n'、Windows 慣例 '\r\n' 和舊的 Macintosh 慣例 '\r'。請參 [PEP 278](#) 和 [PEP 3116](#)，以及用於 `bytes.splitlines()` 的附加用途。

variable annotation（變數釋） 一個變數或 class 屬性的 *annotation*（釋）。

釋變數或 class 屬性時，賦值是選擇性的：

```
class C:
    field: 'annotation'
```

變數釋通常用於型提示 (*type hint*)：例如，這個變數預期會取得 `int`（整數）值：

```
count: int = 0
```

變數釋的語法在 [annassign](#) 章節有詳細的解釋。

請參 [function annotation](#)（函式釋）、[PEP 484](#) 和 [PEP 526](#)，皆有此功能的描述。

virtual environment（擬環境） 一個協作隔離 (cooperatively isolated) 的執行環境，能讓 Python 的使用者和應用程式得以安裝和升級 Python 發套件，而不會對同一個系統上運行的其他 Python 應用程式的行產生干擾。

另請參 [venv](#)。

virtual machine (虛擬機器) 一部完全由軟體所定義的電腦 (computer)。Python 的虛擬機器會執行由 *bytecode* (位元組碼) 編譯器所發出的位元組碼。

Zen of Python (Python 之) Python 設計原則與哲學的列表，其內容有助於理解和使用此語言。此列表可以透過在互動式提示字元後輸入「import this」來找到它。

關於這些📄明文件

這些📄明文件是透過 [Sphinx](#)（一個專📄 Python 📄明文件所撰寫的文件處理器）將使用 [reStructuredText](#) 撰寫的原始檔轉📄而成。

如同 Python 自身，透過自願者的努力下📄出文件與封裝後自動化執行工具。若想要回報臭蟲，請見 [reporting-bugs](#) 頁面，📄含相關資訊。我們永遠歡迎新的自願者加入！

致謝：

- Fred L. Drake, Jr., 原始 Python 文件工具集的創造者以及一大部份📄容的作者。
- 創造 [reStructuredText](#) 和 [Docutils](#) 工具組的 [Docutils](#) 專案；
- Fredrik Lundh for his Alternative Python Reference project from which Sphinx got many good ideas.

B.1 Python 文件的貢獻者們

許多人都曾📄 Python 這門語言、Python 標準函式庫和 Python 📄明文件貢獻過。Python 所發📄的原始碼中含有部份貢獻者的清單，請見 [Misc/ACKS](#)。

正因📄 Python 社群的撰寫與貢獻才有這份這📄棒的📄明文件 -- 感謝所有貢獻過的人們！

沿革與授權

C.1 軟體沿革

Python 是由荷蘭數學和計算機科學研究學會（CWI，見 <https://www.cwi.nl/>）的 Guido van Rossum 於 1990 年代早期所創造，目的是作一種稱作 ABC 語言的後繼者。儘管 Python 包含了許多來自其他人的貢獻，Guido 仍是其主要作者。

1995 年，Guido 在維吉尼亞州雷斯頓的國家創新研究公司（CNRI，見 <https://www.cnri.reston.va.us/>）繼續他在 Python 的工作，在那發行了該軟體的多個版本。

2000 年五月，Guido 和 Python 核心開發團隊轉移到 BeOpen.com 成立了 BeOpen PythonLabs 團隊。同年十月，PythonLabs 團隊轉移到 Digital Creations（現 Zope Corporation；見 <https://www.zope.org/>）。2001 年，Python 軟體基金會（PSF，見 <https://www.python.org/psf/>）成立，這是一個專擁有 Python 相關的智慧財產權而創立的非營利組織。Zope Corporation 是 PSF 的一個贊助會員。

所有的 Python 版本都是開源的（有關開源的定義，參見 <https://opensource.org/>）。歷史上，大多數但非全部的 Python 版本，也是 GPL 相容的；以下表格總結各個版本的差異。

發行版本	源自	年份	擁有者	GPL 相容性
0.9.0 至 1.2	不適用	1991-1995	CWI	是
1.3 至 1.5.2	1.2	1995-1999	CNRI	是
1.6	1.5.2	2000	CNRI	否
2.0	1.6	2000	BeOpen.com	否
1.6.1	1.6	2001	CNRI	否
2.1	2.0+1.6.1	2001	PSF	否
2.0.1	2.0+1.6.1	2001	PSF	是
2.1.1	2.1+2.0.1	2001	PSF	是
2.1.2	2.1.1	2002	PSF	是
2.1.3	2.1.2	2002	PSF	是
2.2 以上	2.1.1	2001 至今	PSF	是

備註：GPL 相容不表示我們是在 GPL 下發行 Python。不像 GPL，所有的 Python 授權都可以讓您發行修改後的版本，但不一定要使您的變更成開源。GPL 相容的授權使得 Python 可以結合其他在 GPL 下發行的軟體一起使用；但其它的授權則不行。

感謝許多的外部志工，在 Guido 指導下的付出，使得這些版本的發成可能。

C.2 關於存取或以其他方式使用 Python 的合約條款

Python 軟體和明文件的授權是基於 *PSF 授權合約*。

從 Python 3.8.6 開始，明文件中的範例、程式庫和其他程式碼，是被雙重授權 (dual licensed) 於 PSF 授權合約以及 *Zero-Clause BSD* 授權。

有些被納入 Python 中的軟體是基於不同的授權。這些授權將會與其授權之程式碼一起被列出。關於這些授權的不完整清單，請參被收軟體的授權與致謝。

C.2.1 用於 PYTHON 3.9.12 的 PSF 授權合約

1. This LICENSE AGREEMENT is between the Python Software Foundation, ("PSF"), and the Individual or Organization ("Licensee") accessing and otherwise using Python 3.9.12 software in source or binary form and its associated documentation.
2. Subject to the terms and conditions of this License Agreement, PSF hereby grants Licensee a nonexclusive, royalty-free, world-wide license to reproduce, analyze, test, perform and/or display publicly, prepare derivative works, distribute, and otherwise use Python 3.9.12 alone or in any derivative version, provided, however, that PSF's License Agreement and PSF's notice of copyright, i.e., "Copyright © 2001–2022 Python Software Foundation; All Rights Reserved" are retained in Python 3.9.12 alone or in any derivative version prepared by Licensee.
3. In the event Licensee prepares a derivative work that is based on or incorporates Python 3.9.12 or any part thereof, and wants to make the derivative work available to others as provided herein, then Licensee hereby agrees to include in any such work a brief summary of the changes made to Python 3.9.12.
4. PSF is making Python 3.9.12 available to Licensee on an "AS IS" basis. PSF MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED. BY WAY OF EXAMPLE, BUT NOT LIMITATION, PSF MAKES NO AND DISCLAIMS ANY REPRESENTATION OR WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE OR THAT THE USE OF PYTHON 3.9.12 WILL NOT INFRINGE ANY THIRD PARTY RIGHTS.
5. PSF SHALL NOT BE LIABLE TO LICENSEE OR ANY OTHER USERS OF PYTHON 3.9.12 FOR ANY INCIDENTAL, SPECIAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR LOSS AS A RESULT OF

- MODIFYING, DISTRIBUTING, OR OTHERWISE USING PYTHON 3.9.12, OR ANY
 ↳DERIVATIVE
 THEREOF, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY THEREOF.
6. This License Agreement will automatically terminate upon a material
 ↳breach of
 its terms and conditions.
7. Nothing in this License Agreement shall be deemed to create any
 ↳relationship
 of agency, partnership, or joint venture between PSF and Licensee. ↳
 ↳This License
 Agreement does not grant permission to use PSF trademarks or trade name ↳
 ↳in a
 trademark sense to endorse or promote products or services of Licensee, ↳
 ↳or any
 third party.
8. By copying, installing or otherwise using Python 3.9.12, Licensee agrees
 to be bound by the terms and conditions of this License Agreement.

C.2.2 用於 PYTHON 2.0 的 BEOPEN.COM 授權合約

BEOPEN PYTHON 開源授權合約第 1 版

1. This LICENSE AGREEMENT is between BeOpen.com ("BeOpen"), having an office at 160 Saratoga Avenue, Santa Clara, CA 95051, and the Individual or Organization ("Licensee") accessing and otherwise using this software in source or binary form and its associated documentation ("the Software").
2. Subject to the terms and conditions of this BeOpen Python License Agreement, BeOpen hereby grants Licensee a non-exclusive, royalty-free, world-wide license to reproduce, analyze, test, perform and/or display publicly, prepare derivative works, distribute, and otherwise use the Software alone or in any derivative version, provided, however, that the BeOpen Python License is retained in the Software, alone or in any derivative version prepared by Licensee.
3. BeOpen is making the Software available to Licensee on an "AS IS" basis. BEOPEN MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED. BY WAY OF EXAMPLE, BUT NOT LIMITATION, BEOPEN MAKES NO AND DISCLAIMS ANY REPRESENTATION OR WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE OR THAT THE USE OF THE SOFTWARE WILL NOT INFRINGE ANY THIRD PARTY RIGHTS.
4. BEOPEN SHALL NOT BE LIABLE TO LICENSEE OR ANY OTHER USERS OF THE SOFTWARE FOR ANY INCIDENTAL, SPECIAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR LOSS AS A RESULT OF USING, MODIFYING OR DISTRIBUTING THE SOFTWARE, OR ANY DERIVATIVE THEREOF, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY THEREOF.
5. This License Agreement will automatically terminate upon a material breach of its terms and conditions.
6. This License Agreement shall be governed by and interpreted in all respects by the law of the State of California, excluding conflict of law provisions. Nothing in this License Agreement shall be deemed to create any relationship of agency, partnership, or joint venture between BeOpen and Licensee. This License Agreement does not grant permission to use BeOpen trademarks or trade names in a trademark sense to endorse or promote products or services of Licensee, or any third party. As an exception, the "BeOpen Python" logos available at <http://www.pythonlabs.com/logos.html> may be used according to the permissions

(下页继续)

(繼續上一頁)

granted on that web page.

7. By copying, installing or otherwise using the software, Licensee agrees to be bound by the terms and conditions of this License Agreement.

C.2.3 用於 PYTHON 1.6.1 的 CNRI 授權合約

1. This LICENSE AGREEMENT is between the Corporation for National Research Initiatives, having an office at 1895 Preston White Drive, Reston, VA 20191 ("CNRI"), and the Individual or Organization ("Licensee") accessing and otherwise using Python 1.6.1 software in source or binary form and its associated documentation.
2. Subject to the terms and conditions of this License Agreement, CNRI hereby grants Licensee a nonexclusive, royalty-free, world-wide license to reproduce, analyze, test, perform and/or display publicly, prepare derivative works, distribute, and otherwise use Python 1.6.1 alone or in any derivative version, provided, however, that CNRI's License Agreement and CNRI's notice of copyright, i.e., "Copyright © 1995–2001 Corporation for National Research Initiatives; All Rights Reserved" are retained in Python 1.6.1 alone or in any derivative version prepared by Licensee. Alternately, in lieu of CNRI's License Agreement, Licensee may substitute the following text (omitting the quotes): "Python 1.6.1 is made available subject to the terms and conditions in CNRI's License Agreement. This Agreement together with Python 1.6.1 may be located on the Internet using the following unique, persistent identifier (known as a handle): 1895.22/1013. This Agreement may also be obtained from a proxy server on the Internet using the following URL: <http://hdl.handle.net/1895.22/1013>."
3. In the event Licensee prepares a derivative work that is based on or incorporates Python 1.6.1 or any part thereof, and wants to make the derivative work available to others as provided herein, then Licensee hereby agrees to include in any such work a brief summary of the changes made to Python 1.6.1.
4. CNRI is making Python 1.6.1 available to Licensee on an "AS IS" basis. CNRI MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED. BY WAY OF EXAMPLE, BUT NOT LIMITATION, CNRI MAKES NO AND DISCLAIMS ANY REPRESENTATION OR WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE OR THAT THE USE OF PYTHON 1.6.1 WILL NOT INFRINGE ANY THIRD PARTY RIGHTS.
5. CNRI SHALL NOT BE LIABLE TO LICENSEE OR ANY OTHER USERS OF PYTHON 1.6.1 FOR ANY INCIDENTAL, SPECIAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR LOSS AS A RESULT OF MODIFYING, DISTRIBUTING, OR OTHERWISE USING PYTHON 1.6.1, OR ANY DERIVATIVE THEREOF, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY THEREOF.
6. This License Agreement will automatically terminate upon a material breach of its terms and conditions.
7. This License Agreement shall be governed by the federal intellectual property law of the United States, including without limitation the federal copyright law, and, to the extent such U.S. federal law does not apply, by the law of the Commonwealth of Virginia, excluding Virginia's conflict of law provisions. Notwithstanding the foregoing, with regard to derivative works based on Python 1.6.1 that incorporate non-separable material that was previously distributed under the GNU General Public License (GPL), the law of the Commonwealth of Virginia shall govern this License Agreement only as to issues arising under or with respect to Paragraphs 4, 5, and 7 of this License Agreement. Nothing in this License Agreement shall be deemed to create any relationship of agency, partnership, or joint venture between CNRI and Licensee. This License Agreement does not grant permission to use CNRI trademarks or trade name in a trademark

(下頁繼續)

(繼續上一頁)

sense to endorse or promote products or services of Licensee, or any third party.

8. By clicking on the "ACCEPT" button where indicated, or by copying, installing or otherwise using Python 1.6.1, Licensee agrees to be bound by the terms and conditions of this License Agreement.

C.2.4 用於 PYTHON 0.9.0 至 1.2 的 CWI 授權合約

Copyright © 1991 - 1995, Stichting Mathematisch Centrum Amsterdam, The Netherlands. All rights reserved.

Permission to use, copy, modify, and distribute this software and its documentation for any purpose and without fee is hereby granted, provided that the above copyright notice appear in all copies and that both that copyright notice and this permission notice appear in supporting documentation, and that the name of Stichting Mathematisch Centrum or CWI not be used in advertising or publicity pertaining to distribution of the software without specific, written prior permission.

STICHTING MATHEMATISCH CENTRUM DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD TO THIS SOFTWARE, INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS, IN NO EVENT SHALL STICHTING MATHEMATISCH CENTRUM BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS OF USE, DATA OR PROFITS, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS ACTION, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.

C.2.5 用於 PYTHON 3.9.12 F 明文件 F 程式碼的 ZERO-CLAUSE BSD 授權

Permission to use, copy, modify, and/or distribute this software for any purpose with or without fee is hereby granted.

THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS" AND THE AUTHOR DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD TO THIS SOFTWARE INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS. IN NO EVENT SHALL THE AUTHOR BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, DIRECT, INDIRECT, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS OF USE, DATA OR PROFITS, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS ACTION, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.

C.3 被收 軟體的授權與致謝

本節是一個不完整但持續增加的授權與致謝清單，對象是在 Python 發 版本中所收 的第三方軟體。

C.3.1 Mersenne Twister

`_random` 模組包含了以 <http://www.math.sci.hiroshima-u.ac.jp/~m-mat/MT/MT2002/emt19937ar.html> 的下載 容 基礎的程式碼。以下是原始程式碼的完整聲明：

```
A C-program for MT19937, with initialization improved 2002/1/26.
Coded by Takuji Nishimura and Makoto Matsumoto.

Before using, initialize the state by using init_genrand(seed)
or init_by_array(init_key, key_length).

Copyright (C) 1997 - 2002, Makoto Matsumoto and Takuji Nishimura,
All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without
modification, are permitted provided that the following conditions
are met:

1. Redistributions of source code must retain the above copyright
   notice, this list of conditions and the following disclaimer.

2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright
   notice, this list of conditions and the following disclaimer in the
   documentation and/or other materials provided with the distribution.

3. The names of its contributors may not be used to endorse or promote
   products derived from this software without specific prior written
   permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS
"AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT
LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR
A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT OWNER OR
CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL,
EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO,
PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR
PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF
LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING
NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS
SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

Any feedback is very welcome.
http://www.math.sci.hiroshima-u.ac.jp/~m-mat/MT/emt.html
email: m-mat @ math.sci.hiroshima-u.ac.jp (remove space)
```


C.3.2 Sockets

socket 模組使用 `getaddrinfo()` 和 `getnameinfo()` 函式，它們在 WIDE 專案 (<http://www.wide.ad.jp/>) _F，於不同的原始檔案中被編碼：

```
Copyright (C) 1995, 1996, 1997, and 1998 WIDE Project.
All rights reserved.
```

```
Redistribution and use in source and binary forms, with or without
modification, are permitted provided that the following conditions
are met:
```

1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
3. Neither the name of the project nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

```
THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE PROJECT AND CONTRIBUTORS ``AS IS'' AND
ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE
IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE
ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE PROJECT OR CONTRIBUTORS BE LIABLE
FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL
DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS
OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION)
HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT
LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY
OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF
SUCH DAMAGE.
```

C.3.3 非同步 socket 服務

asynchat 和 asyncore 模組包含以下聲明：

```
Copyright 1996 by Sam Rushing
```

```
All Rights Reserved
```

```
Permission to use, copy, modify, and distribute this software and
its documentation for any purpose and without fee is hereby
granted, provided that the above copyright notice appear in all
copies and that both that copyright notice and this permission
notice appear in supporting documentation, and that the name of Sam
Rushing not be used in advertising or publicity pertaining to
distribution of the software without specific, written prior
permission.
```

```
SAM RUSHING DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD TO THIS SOFTWARE,
INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS, IN
NO EVENT SHALL SAM RUSHING BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, INDIRECT OR
CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS
OF USE, DATA OR PROFITS, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT,
NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS ACTION, ARISING OUT OF OR IN
CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.
```

C.3.4 Cookie 管理

http.cookies 模組包含以下聲明：

```
Copyright 2000 by Timothy O'Malley <timo@alum.mit.edu>

    All Rights Reserved

Permission to use, copy, modify, and distribute this software
and its documentation for any purpose and without fee is hereby
granted, provided that the above copyright notice appear in all
copies and that both that copyright notice and this permission
notice appear in supporting documentation, and that the name of
Timothy O'Malley not be used in advertising or publicity
pertaining to distribution of the software without specific, written
prior permission.

Timothy O'Malley DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD TO THIS
SOFTWARE, INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY
AND FITNESS, IN NO EVENT SHALL Timothy O'Malley BE LIABLE FOR
ANY SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES
WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS OF USE, DATA OR PROFITS,
WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS
ACTION, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR
PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.
```

C.3.5 執行追F

trace 模組包含以下聲明：

```
portions copyright 2001, Autonomous Zones Industries, Inc., all rights...
err... reserved and offered to the public under the terms of the
Python 2.2 license.
Author: Zooko O'Whielacronx
http://zooko.com/
mailto:zooko@zooko.com

Copyright 2000, Mojam Media, Inc., all rights reserved.
Author: Skip Montanaro

Copyright 1999, Bioreason, Inc., all rights reserved.
Author: Andrew Dalke

Copyright 1995-1997, Automatrix, Inc., all rights reserved.
Author: Skip Montanaro

Copyright 1991-1995, Stichting Mathematisch Centrum, all rights reserved.

Permission to use, copy, modify, and distribute this Python software and
its associated documentation for any purpose without fee is hereby
granted, provided that the above copyright notice appears in all copies,
and that both that copyright notice and this permission notice appear in
supporting documentation, and that the name of neither Automatrix,
Bioreason or Mojam Media be used in advertising or publicity pertaining to
distribution of the software without specific, written prior permission.
```

C.3.6 UUencode 與 UUdecode 函式

uu 模組包含以下聲明：

```
Copyright 1994 by Lance Ellinghouse
Cathedral City, California Republic, United States of America.
    All Rights Reserved
Permission to use, copy, modify, and distribute this software and its
documentation for any purpose and without fee is hereby granted,
provided that the above copyright notice appear in all copies and that
both that copyright notice and this permission notice appear in
supporting documentation, and that the name of Lance Ellinghouse
not be used in advertising or publicity pertaining to distribution
of the software without specific, written prior permission.
LANCE ELLINGHOUSE DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD TO
THIS SOFTWARE, INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND
FITNESS, IN NO EVENT SHALL LANCE ELLINGHOUSE CENTRUM BE LIABLE
FOR ANY SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES
WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS OF USE, DATA OR PROFITS, WHETHER IN AN
ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS ACTION, ARISING OUT
OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.

Modified by Jack Jansen, CWI, July 1995:
- Use binascii module to do the actual line-by-line conversion
  between ascii and binary. This results in a 1000-fold speedup. The C
  version is still 5 times faster, though.
- Arguments more compliant with Python standard
```

C.3.7 XML 遠端程序呼叫

xmlrpc.client 模組包含以下聲明：

```
The XML-RPC client interface is

Copyright (c) 1999-2002 by Secret Labs AB
Copyright (c) 1999-2002 by Fredrik Lundh

By obtaining, using, and/or copying this software and/or its
associated documentation, you agree that you have read, understood,
and will comply with the following terms and conditions:

Permission to use, copy, modify, and distribute this software and
its associated documentation for any purpose and without fee is
hereby granted, provided that the above copyright notice appears in
all copies, and that both that copyright notice and this permission
notice appear in supporting documentation, and that the name of
Secret Labs AB or the author not be used in advertising or publicity
pertaining to distribution of the software without specific, written
prior permission.

SECRET LABS AB AND THE AUTHOR DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD
TO THIS SOFTWARE, INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANT-
ABILITY AND FITNESS. IN NO EVENT SHALL SECRET LABS AB OR THE AUTHOR
BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY
DAMAGES WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS OF USE, DATA OR PROFITS,
WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS
ACTION, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE
OF THIS SOFTWARE.
```

C.3.8 test_epoll

test_epoll 模組包含以下聲明：

Copyright (c) 2001-2006 Twisted Matrix Laboratories.

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal in the Software without restriction, including without limitation the rights to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is furnished to do so, subject to the following conditions:

The above copyright notice and this permission notice shall be included in all copies or substantial portions of the Software.

THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE.

C.3.9 Select kqueue

select 模組對於 kqueue 介面包含以下聲明：

Copyright (c) 2000 Doug White, 2006 James Knight, 2007 Christian Heimes
All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE AUTHOR AND CONTRIBUTORS ``AS IS'' AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE AUTHOR OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

C.3.10 SipHash24

Python/pyhash.c 檔案包含 Marek Majkowski 基於 Dan Bernstein 的 SipHash24 演算法的實作。它包含以下聲明：

```
<MIT License>
Copyright (c) 2013  Marek Majkowski <marek@popcount.org>

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy
of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal
in the Software without restriction, including without limitation the rights
to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell
copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is
furnished to do so, subject to the following conditions:

The above copyright notice and this permission notice shall be included in
all copies or substantial portions of the Software.
</MIT License>

Original location:
    https://github.com/majek/csiphash/

Solution inspired by code from:
    Samuel Neves (supercop/crypto_auth/siphash24/little)
    djb (supercop/crypto_auth/siphash24/little2)
    Jean-Philippe Aumasson (https://131002.net/siphash/siphash24.c)
```

C.3.11 strtod 與 dtoa

Python/dtoa.c 檔案提供了 C 的 dtoa 和 strtod 函式，用於將 C 的雙精度浮點數和字串互相轉譯。該檔案是衍生自 David M. Gay 建立的同名檔案，後者現在可以從 <http://www.netlib.org/fp/> 下載。於 2009 年 3 月 16 日所檢索的原始檔案包含以下版權與授權聲明：

```
/*
 *
 * The author of this software is David M. Gay.
 *
 * Copyright (c) 1991, 2000, 2001 by Lucent Technologies.
 *
 * Permission to use, copy, modify, and distribute this software for any
 * purpose without fee is hereby granted, provided that this entire notice
 * is included in all copies of any software which is or includes a copy
 * or modification of this software and in all copies of the supporting
 * documentation for such software.
 *
 * THIS SOFTWARE IS BEING PROVIDED "AS IS", WITHOUT ANY EXPRESS OR IMPLIED
 * WARRANTY.  IN PARTICULAR, NEITHER THE AUTHOR NOR LUCENT MAKES ANY
 * REPRESENTATION OR WARRANTY OF ANY KIND CONCERNING THE MERCHANTABILITY
 * OF THIS SOFTWARE OR ITS FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE.
 */
```

C.3.12 OpenSSL

如果 OpenSSL 函式庫可被作業系統使用，則 hashlib、posix、ssl、crypt 模組會使用它來提升效能。此外，因 Windows 和 macOS 的 Python 安裝程式可能包含 OpenSSL 函式庫的副本，所以我們也在此收錄 OpenSSL 授權的副本：

```

LICENSE ISSUES
=====

The OpenSSL toolkit stays under a dual license, i.e. both the conditions of
the OpenSSL License and the original SSLeay license apply to the toolkit.
See below for the actual license texts. Actually both licenses are BSD-style
Open Source licenses. In case of any license issues related to OpenSSL
please contact openssl-core@openssl.org.

OpenSSL License
-----

/* =====
 * Copyright (c) 1998-2008 The OpenSSL Project. All rights reserved.
 *
 * Redistribution and use in source and binary forms, with or without
 * modification, are permitted provided that the following conditions
 * are met:
 *
 * 1. Redistributions of source code must retain the above copyright
 * notice, this list of conditions and the following disclaimer.
 *
 * 2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright
 * notice, this list of conditions and the following disclaimer in
 * the documentation and/or other materials provided with the
 * distribution.
 *
 * 3. All advertising materials mentioning features or use of this
 * software must display the following acknowledgment:
 * "This product includes software developed by the OpenSSL Project
 * for use in the OpenSSL Toolkit. (http://www.openssl.org/)"
 *
 * 4. The names "OpenSSL Toolkit" and "OpenSSL Project" must not be used to
 * endorse or promote products derived from this software without
 * prior written permission. For written permission, please contact
 * openssl-core@openssl.org.
 *
 * 5. Products derived from this software may not be called "OpenSSL"
 * nor may "OpenSSL" appear in their names without prior written
 * permission of the OpenSSL Project.
 *
 * 6. Redistributions of any form whatsoever must retain the following
 * acknowledgment:
 * "This product includes software developed by the OpenSSL Project
 * for use in the OpenSSL Toolkit (http://www.openssl.org/)"
 *
 * THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE OpenSSL PROJECT ``AS IS'' AND ANY
 * EXPRESSED OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE
 * IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR
 * PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE OpenSSL PROJECT OR
 * ITS CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL,
 * SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT
 * NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES;
 * LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION)
 * HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT,
 * STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE)

```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```
* ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED
* OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.
* =====
*
* This product includes cryptographic software written by Eric Young
* (eay@cryptsoft.com). This product includes software written by Tim
* Hudson (tjh@cryptsoft.com).
*
*/
```

Original SSLeay License

```
/* Copyright (C) 1995-1998 Eric Young (eay@cryptsoft.com)
* All rights reserved.
*
* This package is an SSL implementation written
* by Eric Young (eay@cryptsoft.com).
* The implementation was written so as to conform with Netscapes SSL.
*
* This library is free for commercial and non-commercial use as long as
* the following conditions are aheared to. The following conditions
* apply to all code found in this distribution, be it the RC4, RSA,
* lhash, DES, etc., code; not just the SSL code. The SSL documentation
* included with this distribution is covered by the same copyright terms
* except that the holder is Tim Hudson (tjh@cryptsoft.com).
*
* Copyright remains Eric Young's, and as such any Copyright notices in
* the code are not to be removed.
* If this package is used in a product, Eric Young should be given attribution
* as the author of the parts of the library used.
* This can be in the form of a textual message at program startup or
* in documentation (online or textual) provided with the package.
*
* Redistribution and use in source and binary forms, with or without
* modification, are permitted provided that the following conditions
* are met:
* 1. Redistributions of source code must retain the copyright
* notice, this list of conditions and the following disclaimer.
* 2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright
* notice, this list of conditions and the following disclaimer in the
* documentation and/or other materials provided with the distribution.
* 3. All advertising materials mentioning features or use of this software
* must display the following acknowledgement:
* "This product includes cryptographic software written by
* Eric Young (eay@cryptsoft.com)"
* The word 'cryptographic' can be left out if the rouines from the library
* being used are not cryptographic related :-).
* 4. If you include any Windows specific code (or a derivative thereof) from
* the apps directory (application code) you must include an acknowledgement:
* "This product includes software written by Tim Hudson (tjh@cryptsoft.com)"
*
* THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY ERIC YOUNG ``AS IS'' AND
* ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE
* IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE
* ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE AUTHOR OR CONTRIBUTORS BE LIABLE
* FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL
* DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS
* OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION)
* HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT
* LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY
```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```
* OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF
* SUCH DAMAGE.
*
* The licence and distribution terms for any publically available version or
* derivative of this code cannot be changed. i.e. this code cannot simply be
* copied and put under another distribution licence
* [including the GNU Public Licence.]
*/
```

C.3.13 expat

除非在建置 pyexpat 擴充時設定 `--with-system-expat`，否則該擴充會用一個含 expat 原始碼的副本來建置：

```
Copyright (c) 1998, 1999, 2000 Thai Open Source Software Center Ltd
and Clark Cooper

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining
a copy of this software and associated documentation files (the
"Software"), to deal in the Software without restriction, including
without limitation the rights to use, copy, modify, merge, publish,
distribute, sublicense, and/or sell copies of the Software, and to
permit persons to whom the Software is furnished to do so, subject to
the following conditions:

The above copyright notice and this permission notice shall be included
in all copies or substantial portions of the Software.

THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND,
EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF
MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT.
IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY
CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT,
TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE
SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE.
```

C.3.14 libffi

除非在建置 _ctypes 擴充時設定 `--with-system-libffi`，否則該擴充會用一個含 libffi 原始碼的副本來建置：

```
Copyright (c) 1996-2008 Red Hat, Inc and others.

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining
a copy of this software and associated documentation files (the
``Software''), to deal in the Software without restriction, including
without limitation the rights to use, copy, modify, merge, publish,
distribute, sublicense, and/or sell copies of the Software, and to
permit persons to whom the Software is furnished to do so, subject to
the following conditions:

The above copyright notice and this permission notice shall be included
in all copies or substantial portions of the Software.

THE SOFTWARE IS PROVIDED ``AS IS'', WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND,
EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF
MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND
```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```
NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS OR COPYRIGHT
HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY,
WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM,
OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER
DEALINGS IN THE SOFTWARE.
```

C.3.15 zlib

如果在系統上找到的 zlib 版本太舊以致於無法用於建置 zlib 擴充，則該擴充會用一個含 zlib 原始碼的副本來建置：

```
Copyright (C) 1995-2011 Jean-loup Gailly and Mark Adler

This software is provided 'as-is', without any express or implied
warranty. In no event will the authors be held liable for any damages
arising from the use of this software.

Permission is granted to anyone to use this software for any purpose,
including commercial applications, and to alter it and redistribute it
freely, subject to the following restrictions:

1. The origin of this software must not be misrepresented; you must not
   claim that you wrote the original software. If you use this software
   in a product, an acknowledgment in the product documentation would be
   appreciated but is not required.

2. Altered source versions must be plainly marked as such, and must not be
   misrepresented as being the original software.

3. This notice may not be removed or altered from any source distribution.

Jean-loup Gailly          Mark Adler
jloup@gzip.org            madler@alumni.caltech.edu
```

C.3.16 cfuhash

tracemalloc 使用的雜表 (hash table) 實作，是以 cfuhash 專案基礎：

```
Copyright (c) 2005 Don Owens
All rights reserved.

This code is released under the BSD license:

Redistribution and use in source and binary forms, with or without
modification, are permitted provided that the following conditions
are met:

* Redistributions of source code must retain the above copyright
  notice, this list of conditions and the following disclaimer.

* Redistributions in binary form must reproduce the above
  copyright notice, this list of conditions and the following
  disclaimer in the documentation and/or other materials provided
  with the distribution.

* Neither the name of the author nor the names of its
  contributors may be used to endorse or promote products derived
```

(下页继续)

(繼續上一頁)

```
from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS
"AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT
LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS
FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE
COPYRIGHT OWNER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT,
INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES
(INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR
SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION)
HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT,
STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE)
ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED
OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.
```

C.3.17 libmpdec

除非在建置 `_decimal` 模組時設定 `--with-system-libmpdec`，否則該模組會用一個含 `libmpdec` 函式庫的副本來建置：

```
Copyright (c) 2008-2020 Stefan Krah. All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without
modification, are permitted provided that the following conditions
are met:

1. Redistributions of source code must retain the above copyright
   notice, this list of conditions and the following disclaimer.

2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright
   notice, this list of conditions and the following disclaimer in the
   documentation and/or other materials provided with the distribution.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE AUTHOR AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND
ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE
IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE
ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE AUTHOR OR CONTRIBUTORS BE LIABLE
FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL
DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS
OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION)
HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT
LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY
OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF
SUCH DAMAGE.
```

C.3.18 W3C C14N 測試套件

test 程式包中的 C14N 2.0 測試套件 (Lib/test/xmltestdata/c14n-20/) 是從 W3C 網站 <https://www.w3.org/TR/xml-c14n2-testcases/> 被檢索，且是基於 3-clause BSD 授權被發：

```
Copyright (c) 2013 W3C(R) (MIT, ERCIM, Keio, Beihang),
All Rights Reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without
modification, are permitted provided that the following conditions
are met:
```

(下页继续)

(繼續上一頁)

- * Redistributions of works must retain the original copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
- * Redistributions in binary form must reproduce the original copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
- * Neither the name of the W3C nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this work without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT OWNER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

APPENDIX D

版權宣告

Python 和這份圖明文件的版權：

Copyright © 2001-2022 Python Software Foundation. All rights reserved.

Copyright © 2000 BeOpen.com 保留一切權利。

Copyright © 1995-2000 Corporation for National Research Initiatives 保留一切權利。

Copyright © 1991-1995 Stichting Mathematisch Centrum 保留一切權利。

完整的授權條款資訊請參見[沿革與授權](#)。

非字母

..., 63
 2to3, 63
 >>>, 63
 __future__, 67
 __slots__, 73
 環境變數
 PYTHONPATH, 53

A

abstract base class (抽象基底類 \square), 63
 annotation (\square 釋), 63
 argument (引數), 63
 asynchronous context manager (非同步情境管理器), 64
 asynchronous generator iterator (非同步 \square 生器 \square 代器), 64
 asynchronous generator (非同步 \square 生器), 64
 asynchronous iterable (非同步可 \square 代物件), 64
 asynchronous iterator (非同步 \square 代器), 64
 attribute (屬性), 64
 awaitable (可等待物件), 64

B

BDFL, 64
 binary file (二進制檔案), 64
 bytecode (位元組碼), 65
 bytes-like object (類位元組串物件), 64

C

callback (回呼), 65
 C-contiguous, 65
 class variable (類 \square 變數), 65
 class (類 \square), 65
 coercion (\square 制轉型), 65
 complex number (\square 數), 65
 context manager (情境管理器), 65
 context variable (情境變數), 65
 contiguous (連續的), 65
 coroutine function (協程函式), 65
 coroutine (協程), 65
 CPython, 65

D

deallocation, object, 46
 decorator (裝飾器), 65
 descriptor (描述器), 66
 dictionary comprehension (字典綜合運算), 66
 dictionary view (字典檢視), 66
 dictionary (字典), 66
 docstring (\square 明字串), 66
 duck-typing (鴨子型 \square), 66

E

EAFP, 66
 expression (運算式), 66
 extension module (擴充模組), 66

F

f-string (f 字串), 66
 file object (檔案物件), 66
 file-like object (類檔案物件), 67
 finalization, of objects, 46
 finder (尋檢器), 67
 floor division (向下取整除法), 67
 Fortran contiguous, 65
 function annotation (函式 \square 釋), 67
 function (函式), 67

G

garbage collection (垃圾回收), 67
 generator, 67
 generator expression, 67
 generator expression (\square 生器運算式), 67
 generator iterator (\square 生器 \square 代器), 67
 generator (\square 生器), 67
 generic function (泛型函式), 67
 generic type (泛型型 \square), 68
 GIL, 68
 global interpreter lock (全域直譯器鎖), 68

H

hash-based pyc (雜 \square 架構的 pyc), 68
 hashable (可雜 \square 的), 68

I

IDLE, 68
 immutable (不可變物件), 68
 import path (匯入路徑), 68
 importer (匯入器), 68
 importing (匯入), 68
 interactive (互動的), 68
 interpreted (直譯的), 68
 interpreter shutdown (直譯器關閉), 68
 iterable (可 F 代物件), 69
 iterator (F 代器), 69

K

key function (鍵函式), 69
 keyword argument (關鍵字引數), 69

L

lambda, 69
 LBYL, 69
 list comprehension (串列綜合運算), 69
 list (串列), 69
 loader (載入器), 69

M

magic
 method, 69
 magic method (魔術方法), 69
 mapping (對映), 70
 meta path finder (元路徑尋檢器), 70
 metaclass (元類 F), 70
 method
 magic, 69
 special, 73
 method resolution order (方法解析順序), 70
 method (方法), 70
 module spec (模組規格), 70
 module (模組), 70
 MRO, 70
 mutable (可變物件), 70

N

named tuple (附名元組), 70
 namespace package (命名空間套件), 71
 namespace (命名空間), 70
 nested scope (巢狀作用域), 71
 new-style class (新式類 F), 71

O

object
 deallocation, 46
 finalization, 46
 object (物件), 71

P

package (套件), 71
 parameter (參數), 71

path based finder (基於路徑的尋檢器), 72
 path entry finder (路徑項目尋檢器), 71
 path entry hook (路徑項目 F), 72
 path entry (路徑項目), 71
 path-like object (類路徑物件), 72
 PEP, 72
 Philbrick, Geoff, 14
 portion (部分), 72
 positional argument (位置引數), 72
 provisional API (暫行 API), 72
 provisional package (暫行套件), 72
 PyArg_ParseTuple(), 12
 PyArg_ParseTupleAndKeywords(), 14
 PyErr_Fetch(), 46
 PyErr_Restore(), 46
 PyInit_modulename (C 函式), 53
 PyObject_CallObject(), 11
 Python 3000, 72
 Python Enhancement Proposals
 PEP 1, 72
 PEP 238, 67
 PEP 278, 74
 PEP 302, 67, 69
 PEP 343, 65
 PEP 362, 64, 71
 PEP 411, 72
 PEP 420, 67, 71, 72
 PEP 442, 47
 PEP 443, 67
 PEP 451, 67
 PEP 483, 68
 PEP 484, 63, 67, 68, 74
 PEP 489, 10, 53
 PEP 492, 64, 65
 PEP 498, 66
 PEP 519, 72
 PEP 525, 64
 PEP 526, 63, 74
 PEP 585, 68
 PEP 3116, 74
 PEP 3155, 72

Pythonic (Python 風格的), 72
 PYTHONPATH, 53

Q

qualified name (限定名稱), 72

R

READ_RESTRICTED, 49
 READONLY, 49
 reference count (參照計數), 73
 regular package (正規套件), 73
 repr
 F 建函式, 47
 RESTRICTED, 49

S

sequence (序列), 73

set comprehension (集合綜合運算), 73
 single dispatch (單一調度), 73
 slice (切片), 73
 special
 method, 73
 special method (特殊方法), 73
 statement (陳述式), 73
 string
 object representation, 47

T

text encoding (文字編碼), 73
 text file (文字檔案), 73
 triple-quoted string (三引號字串), 74
 type alias (型名), 74
 type hint (型提示), 74
 type (型), 74

U

universal newlines (通用行字元), 74

V

variable annotation (變數釋), 74
 建函式
 repr, 47
 virtual environment (擬環境), 74
 virtual machine (擬機器), 75

W

WRITE_RESTRICTED, 49

Z

Zen of Python (Python 之), 75