

C++ 基础库 CO 参考文档 v1.2

Alvin 2020/07/23

idealvin@qq.com

CO 是一个优雅、高效的 C++ 基础库，支持 Linux, Windows 与 Mac 平台。本文档将介绍 CO 的功能组件及使用方法。

1. 概览

CO 追求极简、高效，不依赖于 [boost](#) 等三方库，仅使用了少量的 C++11 特性。

- CO 包含的功能组件：
 - 基本定义([def](#))
 - 原子操作([atomic](#))
 - 随机数生成器([random](#))
 - [LruMap](#)
 - 基本类型快速转字符串([fast](#))
 - 高效字符流([fastream](#))
 - 高效字符串([fastring](#))
 - 字符串操作([str](#))
 - 命令行参数与配置文件解析库([flag](#))
 - 高效流式日志库([log](#))
 - 单元测试框架([unittest](#))
 - 高效 [json](#) 库([json](#))
 - 时间库([time](#))
 - 线程库([thread](#))
 - 协程库([co](#))
 - 网络库([so](#))
 - [hash](#) 库([hash](#))
 - [path](#) 库([path](#))
 - 文件系统操作([fs](#))
 - 系统操作([os](#))

2. 基本定义([def](#))

include: [co/def.h](#).

2.1 定长整数类型

```
int8    int16   int32   int64
uint8   uint16  uint32  uint64
```

这些类型在不同平台的长度是一致的，不存在可移植性问题。[Google Code Style](#) 建议除了 `int`，不要使用 `short`, `long`, `long long` 等内置整数类型。

def.h 还定义了上述整数类型的最大、最小值：

```
MAX_UINT8  MAX_UINT16  MAX_UINT32  MAX_UINT64
MAX_INT8   MAX_INT16   MAX_INT32   MAX_INT64
MIN_INT8   MIN_INT16   MIN_INT32   MIN_INT64
```

2.2 读写 1、2、4、8 字节

def.h 定义了如下的宏，用于读写 1、2、4、8 字节的数据(注意边界对齐)：

```
load8  load16  load32  load64
save8  save16  save32  save64
```

- 代码示例

```
uint64 v;           // 8 字节
save32(&v, 7);      // v 的前 4 个字节设为 7
uint16 x = load16(&v); // 读取 v 的前 2 个字节
```

2.3 DISALLOW_COPY_AND_ASSIGN

这个宏用于禁止 C++ 类中的拷贝构造函数与赋值操作：

- 代码示例

```
class T {
public:
    T();
    DISALLOW_COPY_AND_ASSIGN(T);
};
```

2.4 force_cast 强制类型转换

force_cast 是对 C 风格强制类型转换的包装：

- 代码示例

```
char c = force_cast<char>(97); // char c = (char) 97;
```

2.5 __forceinline 与 __thread

[__forceinline](#) 是 VS 中的关键字，Linux 等平台用下面的宏模拟：

```
#define __forceinline __attribute__((always_inline))
```

[__thread](#) 是 gcc 中的关键字，用于支持 [TLS](#)，Windows 上用下面的宏模拟：

```
#define __thread __declspec(thread)
```

- 代码示例

```
// 获取当前线程的 id
__forceinline unsigned int gettid() {
    static __thread unsigned int id = 0;
    if (id != 0) return id;
    return id = __gettid();
}
```

2.6 unlikely

unlikely 宏用于分支选择优化(仅支持 gcc、clang):

```
// 与 if (v == -1) 逻辑上等价, 但提示编译器 v == -1 的可能性较小
if (unlikely(v == -1)) {
    cout << "v == -1" << endl;
}
```

3. 原子操作(atomic)

include: [co/atomic.h](#).

atomic 库定义了如下的原子操作:

atomic_inc	atomic_dec	atomic_add	atomic_sub
atomic_fetch_inc	atomic_fetch_dec	atomic_fetch_add	atomic_fetch_sub
atomic_or	atomic_and	atomic_xor	
atomic_fetch_or	atomic_fetch_and	atomic_fetch_xor	
atomic_swap	atomic_compare_swap		
atomic_get	atomic_set	atomic_reset	

上述原子操作适用于 1, 2, 4, 8 字节长度的数据类型。inc, dec, add, sub, or, and, xor 各有一个 **fetch** 版, 区别在于, **fetch** 版本返回原子操作之前的值, 非 **fetch** 版本返回原子操作之后的值。

- 代码示例

```
bool b = false;
int i = 0;
uint64 u = 0;
void* p = 0;

atomic_inc(&i);           // return ++i;
atomic_dec(&i);           // return --i;
atomic_add(&i, 3);        // return i += 3;
atomic_sub(&i, 3);        // return i -= 3;
atomic_fetch_inc(&u);     // return u++;

atomic_or(&i, 8);          // return i |= 8;
atomic_and(&i, 7);        // return i &= 7;
atomic_xor(&i, 7);        // return i ^= 7;
atomic_fetch_xor(&i, 7);  // v = i; i ^= 7; return v;

atomic_swap(&b, true);    // v = b; b = true; return v;
atomic_compare_swap(&i, 0, 1); // v = i; if (i == 0) i = 1; return v;

atomic_get(&u);           // return u;
atomic_set(&u, 7);        // u = 7;
atomic_reset(&i);         // i = 0;
```

```
// atomic operations on pointers
atomic_set(&p, 0);
atomic_swap(&p, 8);
atomic_compare_swap(&p, 0, 8);
```

4. 随机数生成器(random)

include: [co/random.h](#).

Random 是一个速度极快的伪随机数生成器，可以连续无重复的生成 1 ~ 2G-2 之间的整数。**leveldb** 用到了这种算法，本库选用了与 leveldb 不同的常数 **16385**，计算速度更快。算法的数学原理可以参考[一种快速的随机数生成算法](#)一文。

- 代码示例

```
Random r(7);          // 7 是种子数, 不带参数时, 默认为 1
int n = r.next();      // !! 非线程安全
```

5. LruMap

include: [co/lru_map.h](#).

LRU 是一种常用的缓存策略，当缓存达到容量上限时，优先替换掉最近最少使用的数据。**LruMap** 基于 `std::list`、`std::unordered_map` 实现，内部元素是无序的。

- 代码示例

```
LruMap<int, int> m(128);          // capacity: 128
m.insert(1, 23);                 // m.size() > 128 时, 删除内部 list 尾部的元素(最近最少使用)
                                // !! key 已经存在时, 则不会插入新元素
auto it = m.find(1);             // 找到时, 将 1 放到内部 list 首部
if (it != m.end()) m.erase(it);  // erase by iterator
m.erase(it->first);              // erase by key
```

6. 基本类型快速转字符串(fast)

include: [co/fast.h](#).

fast 库提供了如下的函数：

```
u32toh u64toh u32toa u64toa i32toa i64toa dtoa
```

xtoh 系列函数将整数类型转换为十六进制字符串，内部用一个 table 缓存前 256 个数对应的 16 进制字符串(2个字节)，不同平台测试结果比 `snprintf` 快 10~25 倍左右。

xtoa 系列函数将整数类型转换为十进制 ascii 字符串，内部用一个 table 缓存前 10000 个数对应的 10 进制字符串(4个字节)，不同平台测试结果比 `snprintf` 快 10~25 倍左右。

dtoa 采用了 [Milo Yip](#) 的实现，详情见 [miloyip/dtoa-benchmark](#)。早期基于 **LruMap** 的实现，已弃用。

- 代码示例

```
char buf[32];
int len = fast::u32toh(255, buf); // "0xff", 返回长度 4
int len = fast::i32toa(-99, buf); // "-99", 返回长度 3
int len = fast::dtoa(0.123, buf); // "0.123", 返回长度 5
```

fast 库还提供一个 **fast::stream** 类，支持流式输出、append 等基本操作，是下述的 **faststream** 与 **fastring** 的基类。

7. 高效字符流(faststream)

include: [co/fastream.h](#).

C++ 标准库中的 **std::ostringstream** 性能较差，比 `snprintf` 慢好几倍。**faststream** 继承自 **fast::stream** 类，支持流式输出与二进制 append 操作。其中流式输出，在不同平台比 `snprintf` 快 10~30 倍左右。

- 代码示例

```
faststream fs(1024);           // 预分配 1k 内存
fs << "hello world" << 23;    // 流模式

int i = 23;
char buf[8];
fs.append(buf, 8);             // 追加 8 字节
fs.append(&i, 4);              // 追加 4 字节
fs.append(i);                  // 追加 4 字节, 与 fs.append(&i, 4) 等价
fs.append((int16) 23);         // 追加 2 字节
fs.append('c');                // 追加单个字符
fs.append(100, 'c');           // 追加 100 个 'c'
fs.append('c', 100);           // 追加 100 个 'c'

fs.c_str();                    // 返回 C 风格字符串
fs.str();                      // 返回 C++ 字符串, 内存拷贝
fs.data();                     // 返回数据指针
fs.size();                     // 返回数据长度
fs.capacity();                 // 容量

fs.reserve(4096);              // 预分配至少 4k 内存
fs.resize(32);                 // size -> 32, buffer 中内容不变
fs.clear();                    // size -> 0
fs.swap(faststream());         // 交换
```

- 注意事项

faststream 出于性能上的考虑，在 **append** 操作时不进行安全检查，如下面的代码是不安全的：

```
faststream f;
f.append("hello");
f.append(f.c_str() + 1); // 不安全, 内部不考虑内存重叠的情况
```

8. 高效字符串(fastring)

include: [co/fastring.h](#).

fastring 是 co 中的字符串类型，与 **faststream** 一样，继承于 **fast::stream**，因此除了基本的字符串操作，它同样也支持流式输出操作：

```
fastring s;
s << "hello world " << 1234567;
```

早期的 fastring 实现中使用了引用计数，导致 fastring 的复制行为与 `std::string` 不同，容易造成混淆。为了更好的取代 `std::string`，重构的版本中移除了引用计数。

fastring 几乎支持 fastream 的所有操作，但有一点与 fastream 不一样，fastring 在 **append** 时会进行安全检查：

```
fastring s("hello");
fastream f;
f.append("hello");

// 复制的数据与自身数据重叠
s.append(s.c_str() + 1); // 安全，内部检测到内存重叠，进行特殊的处理
f.append(f.c_str() + 1); // 不安全，内部不检测内存重叠的情况，不能保证得到正确的结果
```

• 代码示例

```
fastring s;                // 空字符串，无内存分配
fastring s(32);            // 空字符串，预分配内存(容量为32)
fastring s("hello");      // 非空字符串
fastring s(88, 'x');       // 初始化 s 为 88 个 'x'
fastring s('x', 88);      // 初始化 s 为 88 个 'x'
fastring t = s;           // 通过内存拷贝创建一个新的字符串

s << "hello " << 23;      // 流式输出
s += "xx";                // 追加
s.append("xx");           // 追加  <==>  s += "xx";
s.swap(fastring());       // 交换

s + "xxx";               // +
s > "xxx";               // >
s < "zzz";               // <
s <= "zz";               // <=
s >= "zz";               // >=

s.find('c');              // 查找字符
s.find("xx", 3);          // 从 pos 3 开始查找子串
s.rfind('c');             // 反向查找字符
s.rfind("xx");            // 反向查找字符串
s.find_first_of("xy");    // 查找第一次出现的 "xy" 中的字符
s.find_first_not_of("xy"); // 查找第一次出现的非 "xy" 中的字符
s.find_last_of("xy");     // 查找最后一次出现的 "xy" 中的字符
s.find_last_not_of("xy"); // 查找最后一次出现的非 "xy" 中的字符

s.starts_with('x');       // s 是否以 'x' 开头
s.starts_with("xx");      // s 是否以 "xx" 开头
s.ends_with('x');         // s 是否以 'x' 结尾
s.ends_with("xx");        // s 是否以 "xx" 结尾

s.replace("xxx", "yy");   // 将 s 中的 "xxx" 替换为 "yy"
s.replace("xxx", "yy", 3); // 将 s 中的 "xxx" 替换为 "yy"，最多替换 3 次

s.strip();                // 删除 s 两端的空白字符 " \t\r\n"
s.strip("ab");            // 删除 s 两端的 'a', 'b'
s.strip("ab", 'l');       // 删除 s 左端的 'a', 'b'
s.strip("ab", 'r');       // 删除 s 右端的 'a', 'b'

s.to_lower();             // s 转换为小写
s.to_upper();             // s 转换为大写
s.lower();                // 返回 s 的小写形式，s 本身不变
```

```
s.upper();           // 返回 s 的大写形式, s 本身不变
s.match("x*y?z");    // 字符串匹配, * 匹配任意字符串, ? 匹配单个字符
```

- 注意事项

fastring 中含有二进制字符时, 不要使用 **find** 系列的操作:

- find()
- rfind()
- find_first_of()
- find_first_not_of()
- find_last_of()
- find_last_not_of()

上述方法基于 **strchr**, **strstr**, **strcspn**, **strspn** 等实现, 字符串中包含二进制字符时, 不能保证得到正确的结果。

9. 字符串操作(str)

include: [co/str.h](#).

9.1 切分字符串(split)

split 函数将字符串切分成若干个子串, 原字符串保持不变, 返回切分后的结果。

- 函数原型

```
// @s: 原字符串, fastring 或 const char*
// @c: 分隔符, 单个字符或'\0'结尾的字符串
// @n: 切分次数, 0 或 -1 表示不限次数, 默认为 0
std::vector<fastring> split(s, c, n=0);
```

- 代码示例

```
str::split("x y z", ' ');    // -> [ "x", "y", "z" ]
str::split("|x|y|", '|');    // -> [ "", "x", "y" ]
str::split("xooy", "oo");    // -> [ "x", "y" ]
str::split("xooy", 'o');     // -> [ "x", "", "y" ]
str::split("xooy", 'o', 1);  // -> [ "x", "oy" ]
```

9.2 修剪字符串(strip)

strip 函数去掉字符串左右两边指定的字符, 原字符串保持不变, 返回 strip 后的结果。

- 函数原型

```
// @s: 原字符串, fastring 或 const char*
// @c: 需要去掉的字符集, 单个字符或字符串
// @d: 方向, 'l' 或 'L' 修剪左边, 'r' 或 'R' 修剪右边, 默认为 'b', 修剪左右两边
fastring strip(s, c=" \t\r\n", d='b');
```

- 代码示例

```
str::strip("abxxa", "ab");      // -> "xx"    修剪两边
str::strip("abxxa", "ab", 'l'); // -> "xxa"    修剪左边
str::strip("abxxa", "ab", 'r'); // -> "abxx"   修剪右边
```

9.3 替换子串(replace)

replace 函数用于替换字符串中的子串，原字符串保持不变，返回替换后的结果。

- 函数原型

```
// @s:      原字符串, fastring 或 const char*
// @sub:     替换前的子串
// @to:      替换后的子串
// @n:       最大替换次数, 0 或 -1 表示不限制次数, 默认为 0
fastring replace(s, sub, to, n=0);
```

- 代码示例

```
str::replace("xooxoo", "oo", "ee");    // -> "xeexeex"
str::replace("xooxoo", "oo", "ee", 1); // -> "xeexoox"
```

9.4 字符串转内置类型

str 库提供如下的函数，将字符串转为内置类型：

```
to_int32  to_int64  to_uint32  to_uint64  to_bool  to_double
```

- 函数说明

- 若转换失败，抛出 `const char*` 类型的异常。
- 转换为整数时，字符串末尾可带单位 **k, m, g, t, p**，不区分大小写。

- 代码示例

```
bool x = str::to_bool("false");    // "true" or "1" -> true, "false" or "0" -> false
double x = str::to_double("3.14"); // 3.14

int32 x = str::to_int32("-23");    // -23
int64 x = str::to_int64("4k");     // 4096
uint32 x = str::to_uint32("8M");   // 8 << 20
uint64 x = str::to_uint64("8T");   // 8ULL << 40
```

9.5 内置类型转字符串

str 库提供 **from** 函数，将内置类型转为字符串。

- 代码示例

```
fastring s = str::from(true);    // -> "true"
fastring s = str::from(23);      // -> "23"
fastring s = str::from(3.14);    // -> "3.14"
```

9.6 debug string

str 库提供 **dbg** 函数，从指定类型生成一个 debug 字符串。

- 函数原型

```
// @v: 内置类型, 字符串类型, 或常用的 STL 容器类型(vector, map, set)
fastring dbg(v);
```

- 代码示例

```
std::vector<int> v { 1, 2, 3 };
std::set<int> s { 1, 2, 3 };
std::map<int, int> m { {1, 1}, {2, 2} };
str::dbg(v);      // -> "[1,2,3]"
str::dbg(s);      // -> "{1,2,3}"
str::dbg(m);      // -> "{1:1,2:2}"

str::dbg(true);   // -> "true"
str::dbg(23);     // -> "23"
str::dbg("23");   // -> "\"23\"", 字符串类型, 两边加引号
```

- 当字符串中含有 " 时, dbg() 生成的字符串看起来会有点瑕疵, 不过此函数一般用于打日志, 应该无伤大雅。

10. 命令行参数与配置文件解析库(flag)

include: [co/flag.h](#).

10.1 基本概念

flag 库是一个类似 [google gflags](#) 的命令行参数及配置文件解析库, 其原理很简单, 代码中定义静态全局变量, 然后在程序启动时解析命令行参数及配置文件, 修改这些全局变量的值。

10.1.1 flag 变量

flag 库中的宏定义的静态全局变量, 称为 **flag** 变量。如下面的代码定义了名为 **x** 的 flag 变量, 它对应的全局变量名是 **FLG_x**。

```
DEF_bool(x, false, "xxx"); // bool FLG_x = false;
```

flag 库支持 7 种类型的 flag 变量:

```
bool, int32, int64, uint32, uint64, double, string
```

10.1.2 command line flag

命令行参数中, 以 **-x=y** 的形式出现, 其中 **x** 被称为一个 **command line flag** (以下都简称为 **flag**)。命令行中的 flag, 与代码中的 flag 变量是一一对应的(下面不再区分二者)。flag 库为了简便易用, 设计得非常灵活:

- -x=y 可以省略前面的 -, 简写为 x=y.
- -x=y 也可以写成 -x y.
- x=y 前面可以带任意数量的 -.
- bool 类型的 flag, -b=true 可以简写为 -b, 简写时不能省略 -.

```
./exe -b -i=32 s=hello xx # b,i,s 是 flag, xx 不是 flag
```

10.2 flag 库的初始化

flag 库对外仅提供一个 api 函数 **flag::init()**，用于初始化 flag 库及解析命令行参数、配置文件等。

```
// 主要流程：
// 1. 扫描命令行参数，分成 flag 与非 flag 两类。
// 2. 根据 flag 参数更新 FLG_config 的值，若非空，解析由此指定的配置文件。
// 3. 根据 flag 参数更新 其他 flag 变量的值。
// 4. 若 FLG_mkconf 非空，生成配置文件，退出程序。
// 5. 若 FLG_daemon 为 true，将程序放入后台执行。

// 解析过程中遇到任何错误，输出错误信息，退出程序。
// 解析全部正常，返回非 flag 的参数列表。
std::vector<fastring> init(int argc, char** argv);
```

此函数需要在进入 **main** 函数时调用一次：

```
#include "co/flag.h"

int main(int argc, char** argv) {
    flag::init(argc, argv);
}
```

10.3 代码中定义、声明及使用 flag 变量

10.3.1 定义 flag 变量

flag 库提供了 7 个宏，分别用于定义 7 种不同类型的 flag 变量：

```
DEF_bool DEF_int32 DEF_int64 DEF_uint32 DEF_uint64 DEF_double DEF_string
```

下面的代码，分别定义了类型为 bool 与 string 的两个 flag 变量：

```
DEF_bool(b, false, "comments"); // bool FLG_b = false;
DEF_string(s, "x", "comments"); // fastring FLG_s = "x";
```

DEF_xxx 宏带有三个参数，第一个参数是 flag 变量名，第二个参数是默认值，第三个参数是注释。需要注意下面两点：

- flag 变量是全局变量，一般不要在头文件中定义它们。
- flag 变量的名字是唯一的，不能定义两个名字相同的 flag 变量。

10.3.2 声明 flag 变量

与定义类似，flag 库也提供了 7 个宏，分别用于声明 7 种不同类型的 flag 变量：

```
DEC_bool DEC_int32 DEC_int64 DEC_uint32 DEC_uint64 DEC_double DEC_string
```

下面的代码声明了一个 int32 类型的变量：

```
DEC_int32(i32); // extern int32 FLG_i32;
```

DEC_xxx 宏只有一个参数，接收 flag 变量名。一个 flag 变量只能定义一次，但可以声明多次，可以在任何需要的地方声明它们。声明一般用于引用其它地方定义的 flag 变量。

10.3.3 使用 flag 变量

定义或声明 flag 变量后，就可以像普通变量一样使用它们：

```
DEC_bool(b);
if (!FLG_b) std::cout << "b is false" << std::endl;

DEF_string(s, "hello", "xxx");
FLG_s += " world";
std::cout << FLG_s << std::endl;
```

10.4 命令行中使用 flag

10.4.1 命令行中设置 flag 变量的值

假设程序中定义了如下的 flag：

```
DEF_bool(x, false, "bool x");
DEF_bool(y, false, "bool y");
DEF_int32(i, -32, "int32");
DEF_uint64(u, 64, "uint64");
DEF_double(d, 3.14, "double");
DEF_string(s, "hello world", "string");
```

程序启动时，可以通过命令行参数修改 flag 变量的值：

- **-x=y** 也可以写成 **-x y** 或者 **x=y**

```
./xx -i=8 u=88 -s="hello world"
./xx -i 8 -u 88 -s "hello world"
```

- bool flag 设置为 true 时，可以略去其值

```
./xx -x      # -x=true
```

- 多个单字母命名的 bool flag，可以合并设置为 true

```
./xx -xy      # -x=true -y=true
```

- 整型 flag 可以带单位 **k, m, g, t, p**，不区分大小写

```
./xx i=-4k    # i=-4096
```

- 整型 flag 可以传 8, 16 进制数

```
./xx i=032    # i=26      8 进制
./xx u=0xff    # u=255    16 进制
```

10.4.2 查看帮助信息

```
$ ./xx --help
usage:
    ./xx --          print flags info
    ./xx --help      print this help info
    ./xx --mkconf     generate config file
    ./xx --daemon     run as a daemon (Linux)
```

<code>./xx xx.conf</code>	run with config file
<code>./xx config=xx.conf</code>	run with config file
<code>./xx -x -i=8k -s=ok</code>	run with commandline flags
<code>./xx -x -i 8k -s ok</code>	run with commandline flags
<code>./xx x=true i=8192 s=ok</code>	run with commandline flags

10.4.3 查看 flag 变量列表

```
$ ./xx --
--config: .path of config file
    type: string      default: ""
    from: ../../base/flag.cc
--mkconf: .generate config file
    type: bool        default: false
    from: ../../base/flag.cc
```

10.5 程序启动时指定配置文件

命令行中可以用 flag **config** 指定程序的配置文件：

```
./xx config=xx.conf
./xx xx.conf      # 若配置文件名以 .conf 或 config 结尾，且是程序命令行的第一个非 flag 参数，则可省略 config=
./xx -x xx.conf   # -x 是 flag，xx.conf 是第一个非 flag 参数
```

另外也可以在代码中调用 **flag::init()** 之前，修改 **FLAG_config** 的值，指定配置文件。

10.6 自动生成配置文件

程序启动时，可以用 **--mkconf** 自动生成配置文件：

```
./xx --mkconf      # 在 xx 所在目录生成 xx.conf
./xx --mkconf -x u=88 # 配置项可以用指定的值替代默认值
```

配置项(flag)按级别、所在文件名、所在代码行数进行排序。定义 flag 时可以在注释开头加上 **#n** 指定级别，**n** 必须是 0 到 99 之间的整数，不指定时默认为 10。

```
// 指定 -daemon 级别为 0，级别小的排在前面
DEF_bool(daemon, false, "#0 run program as a daemon");
```

- 特别说明
 - 注释以 **.** 开头的 flag，带有隐藏属性，不会生成到配置文件中，但 **./xx --** 可以查看。
 - 注释为空的 flag，带有隐身属性，不会生成到配置文件中，**./xx --** 也无法查看。

10.7 配置文件的格式

flag 库的配置文件格式，也比较灵活：

- 忽略行前、行尾的空白字符，书写更自由，不容易出错。
- **#** 或 **//** 表示注释，支持整行注释与行尾注释。
- 引号中的 **#** 或 **//** 不是注释。
- 一行一个 flag，形式强制统一为 **x=y**，看起来一目了然。
- **=** 号前后可以任意添加空白字符，书写更自由。

- 可以用 `\` 续行，以免一行太长，影响美观。
- 字符串不支持转义，以免产生歧义。

下面是一个配置文件的示例：

```
# config file: xx.conf
daemon = false           # 后台运行程序 (daemon 由 flag 库内部定义)
boo = true               # 不能像命令行中那样简写为 -boo

s =                      # 空字符串
s = hello \
    world                # s = "helloworld"
s = "http://github.com"  # 引号中的 # 与 // 不是注释
s = "I'm ok"             # 字符串中含有单引号，两端可以加双引号
s = 'how are "U"'        # 字符串中含有双引号，两端可以加单引号

i32 = 4k                 # 4096，整型可以带单位 k,m,g,t,p，不区分大小写
i32 = 032                # 8 进制，i32 = 26
i32 = 0xff               # 16 进制，i32 = 255
pi = 3.14159             # double 类型
```

11. 高效流式日志库(log)

include: [co/log.h](#).

11.1 基本介绍

log 库是一个类似 [google glog](#) 的 C++ 流式日志库，打印日志比 `printf` 系列的函数更方便、更安全：

```
LOG << "hello world" << 23;
```

log 库内部实现中采用异步方式，日志先写入缓存，达到一定量或超过一定时间后，由后台线程一并写入文件，性能在不同平台比 `glog` 提升了 20~150 倍左右。

下表是在不同平台连续打印 100 万条(每条 50 字节左右) info 级别日志的测试结果：

log vs glog	google glog	co/log
win2012 HHD	1.6MB/s	180MB/s
win10 SSD	3.7MB/s	560MB/s
mac SSD	17MB/s	450MB/s
linux SSD	54MB/s	1023MB/s

11.2 Api 介绍

log 库对外仅提供两个 api 函数：

```
void init();
void close();
```

log::init() 需要在 **main** 函数开头调用一次。由于 log 库依赖于 flag 库，所以 main 函数一般得像下面这样写：

```
#include "co/flag.h"
#include "co/log.h"

int main(int argc, char** argv) {
    flag::init(argc, argv);
    log::init();
}
```

log::close() 将缓存中的日志写入文件，并退出后台写日志的线程。log 库内部会捕获 **SIGINT**, **SIGTERM**, **SIGQUIT** 等信号，在程序退出前将缓存中的日志写入文件。

11.3 打印不同级别的日志

日志分为 debug, info, warning, error, fatal 5 个级别，可以分别用宏 DLOG, LOG, WLOG, ELOG, FLOG 打印 5 种不同级别的日志：

```
DLOG << "this is DEBUG log " << 23;
LOG << "this is INFO log " << 23;
WLOG << "this is WARNING log " << 23;
ELOG << "this is ERROR log " << 23;
FLOG << "this is FATAL log " << 23;
```

打印 **fatal** 日志，表示程序出现了致命错误，log 库会打印当前线程的函数调用栈信息，并终止程序的运行。

11.4 条件日志(LOG_IF)

log 库也提供 **IF** 版的宏，接受一个条件参数，当满足指定条件时才打印日志。

- 代码示例

```
DLOG_IF(cond) << "this is DEBUG log " << 23;
LOG_IF(cond) << "this is INFO log " << 23;
WLOG_IF(cond) << "this is WARNING log " << 23;
ELOG_IF(cond) << "this is ERROR log " << 23;
FLOG_IF(cond) << "this is FATAL log " << 23;
```

11.5 每 N 条打印一次日志(LOG_EVERY_N)

log 库提供 **LOG_EVERY_N** 等宏，支持每 N 条打印一次日志，这些宏内部使用原子操作，保证线程安全性。

- 代码示例

```
// 打印第 1, 33, 65..... 条日志
DLOG_EVERY_N(32) << "this is DEBUG log " << 23;
LOG_EVERY_N(32) << "this is INFO log " << 23;
WLOG_EVERY_N(32) << "this is WARNING log " << 23;
ELOG_EVERY_N(32) << "this is ERROR log " << 23;
```

FLOG 没有这个功能，因为 FLOG 一打印，程序就挂了。

11.6 打印前 N 条日志(LOG_FIRST_N)

log 库提供 **LOG_FIRST_N** 等宏，支持打印前 N 条日志。这些宏内部同样使用原子操作，保证线程安全性。

- 代码示例

```
// 打印前 10 条日志
DLOG_FIRST_N(10) << "this is DEBUG log " << 23;
LOG_FIRST_N(10) << "this is INFO log " << 23;
WLOG_FIRST_N(10) << "this is WARNING log " << 23;
ELOG_FIRST_N(10) << "this is ERROR log " << 23;
```

11.7 CHECK: 加强版的 assert

log 库提供了一系列的 CHECK 宏，可视为加强版的 assert，这些宏在 DEBUG 模式下也不会被清除。

- 代码示例

```
CHECK(1 + 1 == 2) << "say something here";
CHECK_EQ(1 + 1, 2); // ==
CHECK_NE(1 + 1, 2); // !=
CHECK_GE(1 + 1, 2); // >=
CHECK_LE(1 + 1, 2); // <=
CHECK_GT(1 + 1, 2); // > greater than
CHECK_LT(1 + 1, 2); // < less than
```

CHECK 失败时，LOG 库会先调用 log::close() 写日志，再打印当前线程的函数调用栈信息，然后退出程序。

11.8 配置项

- log_dir

指定日志目录，默认为当前目录下的 **logs** 目录，不存在时将会自动创建。

```
DEF_string(log_dir, "logs", "Log dir, will be created if not exists");
```

- log_file_name

指定日志文件名(不含路径)，默认为空，使用程序名作为日志文件名。

```
DEF_string(log_file_name, "", "name of log file, using exename if empty");
```

- min_log_level

指定打印日志的最小级别，用于屏蔽低级别的日志，默认为 0，打印所有级别的日志。

```
DEF_int32(min_log_level, 0, "write logs at or above this level, 0-4 (debug|info|warning|error|fatal)");
```

- max_log_file_size

指定日志文件的最大大小，默认 256M，超过此大小，生成新的日志文件，旧的日志文件会被重命名。

```
DEF_int64(max_log_file_size, 256 << 20, "max size of log file, default: 256MB");
```

- max_log_file_num

指定日志文件的最大数量，默认是 8，超过此值，删除旧的日志文件。

```
DEF_uint32(max_log_file_num, 8, "max number of log files");
```

- max_log_buffer_size

指定日志缓存的最大大小，默认 32M，超过此值，丢掉一半的日志。

```
DEF_uint32(max_log_buffer_size, 32 << 20, "max size of log buffer, default: 32MB");
```

- cout

终端日志开关，默认为 false。若为 true，将日志也打印到终端。

```
DEF_bool(cout, false, "also logging to terminal");
```

11.9 功能及性能测试

LOG 库的测试代码见 [test/log_test.cc](#).

```
# 在 co 根目录执行下述命令
xmake -b log      # build log

# 打印不同类型的日志
xmake r log

# 日志也打印到终端
xmake r log -cout

# min_log_level 指定输出日志的最小级别
xmake r log -min_log_level=1  # 0-4: debug,info,warning,error,fatal

# 性能测试，单线程连续打印 100 万条 info 级别的日志
xmake r log -perf
```

12. 单元测试框架(unittest)

include: [co/unitest.h](#).

unittest 是一个单元测试框架，与 [google gtest](#) 类似，但更简单易用。

12.1 定义测试单元及用例

- 代码示例

```
#include "co/unitest.h"
#include "co/os.h"

// 定义一个名为 os 的测试单元，os 有 3 个不同的测试用例
// 运行单元测试程序时，可用参数 -os 指定运行此单元测试中的用例
DEF_test(os) {
    DEF_case(homedir) {
        EXPECT_NE(os::homedir(), "");
    }

    DEF_case(pid) {
        EXPECT_GE(os::pid(), 0);
    }

    DEF_case(cpunum) {
        EXPECT_GT(os::cpunum(), 0);
    }
}
```


12.2 运行测试用例

`co/unittest` 下有一些单元测试代码，可按下述步骤编译、执行：

```
# 在 co 根目录执行下述命令
xmake -b unittest    # build unittest

# 运行所有测试用例
xmake r unittest -a

# 仅运行 os 单元中的测试用例
xmake r unittest -os
```

13. 高效 json 库(json)

include: `co/json.h`.

`json` 库的设计原则是精简、高效、易用，其性能堪比 `rapidjson`，如果使用 `jemalloc`，`parse` 与 `stringify` 的性能会进一步提升。

- json 库的特性
 - 支持 `null`、`bool`、`int`、`double`、`string` 五种基本类型。
 - 支持 `array`、`object` 两种复合类型。
 - 所有类型统一用一个 `Json` 类表示。
 - `Json` 类内部仅一个指针数据成员，`sizeof(Json) == sizeof(void*)`。
 - `Json` 内置引用计数，复制操作仅增加引用计数(原子操作，线程安全)，不进行内存拷贝。
 - 内置一个简单的内存分配器(`Jalloc`)，对大部分内存分配操作进行优化。

13.1 基本类型

- 代码示例

```
Json x;                                // null
x.is_null();                           // 判断是否为 null

Json x = false;                        // bool 类型
x.is_bool();                           // 判断是否为 bool 类型
bool b = x.get_bool();                 // 获取 bool 类型的值

Json x = 123;                          // int 类型
int i = x.get_int();                   // 获取 int 类型的值

Json x = (int64) 23;                   // int 类型, 64位
int64 i = x.get_int64();               // 返回 64 位整数

Json x = 3.14;                         // double 类型
double d = x.get_double();             // 获取 double 类型的值

Json x = "hello world";                // 字符串类型
Json x(s, n);                          // 字符串类型 (const char* s, size_t n)
x.is_string();                         // 判断是否为字符串类型
x.size();                              // 返回字符串的长度
const char* s = x.get_string();        // 返回字符串指针, 字符串以 '\0' 结尾
```

13.2 array 类型

array 是一种数组类型，可以存储任意类型的 Json 对象。

```
Json x = json::array();           // 创建空数组，不同于 null
x.is_array();                     // 判断是否为 array 类型
x.size();                         // 返回 array 中元素个数
x.empty();                        // 判断 array 是否为空

Json x;                           // null，调用 push_back 后自动变成 array 类型
x.push_back(false);               // 添加 bool 类型的值
x.push_back(1);                   // 添加 int 类型的值
x.push_back(3.14);                // 添加 double 类型的值
x.push_back("hello");             // 添加 string 类型的值
x.push_back(x);                   // 添加 array 类型的对象
x.push_back(obj);                 // 添加 object 类型的对象

// 访问 array 成员
x[0].get_bool();
x[1].get_int();

// 遍历 array
for (uint32 i = 0; i < x.size(); ++i) {
    Json& v = x[i];
}
```

13.3 object 类型

object 类型内部以 key-value 形式存储，value 可以是任意类型的 Json 对象，key 则有下面几条限制：

- key 必须是 `'\0'` 结尾的 C 字符串。
- key 中不能包含双引号 `"`。

```
Json x = json::object();           // 创建空 object 对象，不同于 null
x.is_object();                     // 判断是否为 object 类型
x.size();                           // 返回 object 中元素个数
x.empty();                           // 判断 object 是否为空

Json x;                             // null，调用 add_member() 后自动变成 object 类型
x.add_member("name", "Bob");        // 添加字符串对象
x.add_member("age", 23);             // 添加整数类型
x.add_member("height", 1.68);        // 添加 double 类型
x.add_member("array", array);        // 添加 array 类型
x.add_member("obj", obj);            // 添加 object 类型

// has_member 与 [] 各需查找一次
x.has_member("name");               // 判断是否包含成员 "name"
x["name"].get_string();             // 获取成员的值

// key 不存在时返回 null
Json v = x.find("age");              // Json 内置引用计数，返回对象不会影响性能。
if (v.is_int()) v.get_int();

if (!(v = x.find("obj")).is_null()) {
    do_something();
}

// 遍历
for (auto it = x.begin(); it != x.end(); ++it) {
    const char* key = it->key; // key
```

```

    Json& v = it->value;        // value
}

```

13.4 json 转字符串

Json 类提供 **str()** 与 **pretty()** 方法，将 Json 转化成字符串：

```

Json x;
fastring s = x.str();        // 返回字符串
fastring s = x.pretty();    // 返回 pretty 字符串

fastream fs;
fs << x;                    // 与 fs << x.str() 同，但效率更高
LOG << x;                   // 日志库基于 fastream 实现，可以直接打印 json 对象

```

另外 Json 类还提供一个 **dbg()** 方法，将 Json 转化成 debug 字符串，Json 内部较长的字符串类型可能被截断：

```

Json x;
fastring s = x.dbg();
LOG << x; // 实际上相当于 LOG << x.dbg();

```

13.5 字符串转 json

json::parse() 或者 Json 类中的 **parse_from()** 方法可以将字符串转化成 Json 对象：

```

Json x;
fastring s = x.str();

// parse 失败时, y 为 null
Json y = json::parse(s);
Json y = json::parse(s.data(), s.size());
y.parse_from(x.str());

```

13.6 object 类型如何高效添加与查找成员

object 类型，内部用数组保存 key-value 对，这样可以保持成员添加时的顺序，但同时增加了查找成员的开销。**operator[]** 会进行查找操作，实际应用中应该尽量避免使用。

- 添加成员时用 **add_member()** 取代 operator[]

```

// add_member 不查找，直接将成员添加到尾部
x.add_member("age", 23); // 比 x["age"] = 23 效率更高

```

- 查找成员时用 **find** 取代 operator[]

```

// 传统的成员访问，3 次查找操作，效率低
if (x.has_member("age") && x["age"].is_int()) {
    int i = x["age"].get_int();
}

// 用 find 只需一次查找操作
Json v = x.find("age");
if (v.is_int()) {
    int i = v.get_int();
}

```

13.7 字符串类型中的特殊字符

json 字符串内部以 '\0' 结尾，应该避免在字符串中包含二进制字符。

json 字符串支持包含 " 与 \，也支持 \r, \n, \t 等转义字符。但包含这些特殊字符，会降低 `json::parse()` 的性能，实际应用中应该尽量少用。

```
Json x = "hello\r\n\t";    // ok, 字符串中包含转义字符
Json x = "hello\"world";   // ok, 字符串中包含 "
Json x = "hello\\world";   // ok, 字符串中包含 \
```

14. 时间库(time)

include: [co/time.h](#).

14.1 monotonic time

monotonic time 在多数平台实现为自系统启动开始的时间，一般用于计时，比系统时间稳定，不受系统时间的影响。

- 代码示例

```
int64 us = now::us(); // 微秒
int64 ms = now::ms(); // 毫秒
```

14.2 时间字符串(now::str())

now::str() 基于 **strftime** 实现，以指定格式返回当前系统时间的字符串形式。

- 函数原型

```
// fm: 时间输出格式
fastring str(const char* fm="%Y-%m-%d %H:%M:%S");
```

- 代码示例

```
fastring s = now::str();    // "2018-08-08 08:08:08"
fastring s = now::str("%Y"); // "2028"
```

14.3 sleep

Linux 平台支持微秒级的 sleep，但 Windows 平台难以实现。因此，time 库中仅支持毫秒、秒级的 sleep。

- 代码示例

```
sleep::ms(10); // sleep for 10 milliseconds
sleep::sec(1); // sleep for 1 second
```

14.4 计时器(Timer)

Timer 基于 monotonic 时间实现，对象创建时，即开始计时。

```

Timer t;
sleep::ms(10);

int64 us = t.us(); // 微秒
int64 ms = t.ms(); // 毫秒

t.restart();      // 重新开始计时

```

15. 线程库(thread)

include: [co/thread.h](#).

15.1 互斥锁(Mutex)

Mutex 是多线程编程中常用的一种互斥锁，同一时刻，只能有一个线程抢到锁，其他线程必须等待锁被释放。

还有一种读写锁，同一时刻，允许多个线程读，但最多只有一个线程写。在实际应用中，读写锁性能较差，本库因此移除了读写锁。

与 **Mutex** 相对应的，有一个 **MutexGuard** 类，用于互斥锁的自动获取、释放。

- 代码示例

```

Mutex m;

m.lock();           // 获取锁，若锁已被其他线程占用，则当前线程会阻塞
m.unlock();         // 释放锁
m.try_lock();       // 获取锁，若锁已被其他线程占用，返回 false，当前线程不会阻塞

MutexGuard g(m);    // 构造函数中调用 m.lock() 获取锁，析构函数中调用 m.unlock() 释放锁

```

15.2 同步事件(SyncEvent)

SyncEvent 是多线程编程中常用的一种同步机制，适用于生产者-消费者模型。

- SyncEvent 构造函数说明

```

// manual_reset: 是否在 wait 结束时手动设置 event 的同步状态
// signaled:     event 的初始状态是否为 signaled
SyncEvent(bool manual_reset=false, bool signaled=false);

```

- 代码示例

```

SyncEvent ev;

ev.wait();           // 线程 A，等待事件同步，wait() 函数自动将 event 状态设置为 unsignaled
ev.signal();         // 线程 B，事件同步通知

SyncEvent ev(true, false); // 启用 manual_reset，等待的线程需要手动设置 event 同步状态
ev.wait(1000);        // 线程 A，等待 1000 毫秒，直到事件同步或超时
ev.reset();           // 线程 A，手动设置 event 状态为 unsignaled
ev.signal();          // 线程 B，事件同步通知

```

15.3 线程(Thread)

Thread 类是对线程的封装，创建 Thread 对象时，线程就会启动，线程函数执行完时，线程自动退出。

Thread 类除构造、析构函数外，仅提供两个方法：

- **join()**, 阻塞，等待线程函数执行完，然后退出线程
- **detach()**, 不阻塞，线程函数执行完时，自动释放系统资源
- 代码示例

```
// 启动线程
Thread x(f); // void f();
Thread x(f, p); // void f(void*); void* p;
Thread x(&T::f, &t); // void T::f(); T t;
Thread x(std::bind(f, 7)); // void f(int v);
Thread x(std::bind(&T::f, &t, 7)); // void T::f(int v); T t;

// 阻塞，等线程函数执行完
x.join();

// 启动线程，并销毁 Thread 对象，线程独立于 Thread 对象运行
Thread(f).detach();
```

15.4 获取当前线程的 id

current_thread_id() 用于获取当前线程的 id，thread 库利用 TLS 保存线程 id，每个线程只需一次系统调用。

Linux glibc 从 **2.30** 版本开始增加了 gettid 系统调用，为避免冲突，thread 库移除了早期提供的 gettid 接口，改为 **current_thread_id**。

- 代码示例

```
int id = current_thread_id();
```

15.5 基于 TLS 的 thread_ptr

thread_ptr 用法与 **std::unique_ptr** 类似，但内部使用了 TLS 机制，每个线程设置并拥有自己的 ptr。

- 代码示例

```
struct T {
    void run() {
        cout << current_thread_id() << endl;
    }
};

thread_ptr<T> pt;

// 在 thread 1 的线程函数中执行
if (pt == NULL) pt.reset(new T);
pt->run(); // 打印 thread 1 的 id

// 在 thread 2 的线程函数中执行
if (pt == NULL) pt.reset(new T);
pt->run(); // 打印 thread 2 的 id
```

15.6 定时任务调度器(TaskSched)

TaskSched 类用于定时任务的调度，内部由单线程调度所有任务，但可以从任意线程添加任务。

- TaskSched 提供的方法

- run_in
- run_every
- run_daily

```
// @f: std::function<void()> 类型的函数对象

// n 秒后执行 f 一次
void run_in(f, n);

// 每 n 秒执行一次 f
void run_every(f, n);

// 每天的 hour:min:sec 执行一次
// @hour: 0-23, 默认为 0
// @min: 0-59, 默认为 0
// @sec: 0-59, 默认为 0
void run_daily(f, hour=0, min=0, sec=0);
```

- 代码示例

```
TaskSched s;                // 启动任务调度线程
s.run_in(f, 3);              // 3 秒后执行 f 一次    void f();
s.run_every(std::bind(f, 0), 3); // 每 3 秒执行一次 f    void f(int);
s.run_daily(f);              // 每天 00:00:00 执行一次 f
s.run_daily(f, 23);          // 每天 23:00:00 执行一次 f
s.run_daily(f, 23, 30);      // 每天 23:30:00 执行一次 f
s.stop();                    // 退出任务调度线程
```

16. 协程库(co)

include: [co/co.h](#).

16.1 基本概念

- 协程是运行于线程中的轻量级调度单位.
- 协程之于线程, 类似于线程之于进程.
- 一个进程中可以存在多个线程, 一个线程中可以存在多个协程.
- 协程所在的线程一般被称为调度线程.
- 一个协程发生 io 阻塞或调用 sleep 等操作时, 调度线程会挂起此协程.
- 一个协程挂起时, 调度线程会切换到其他等待执行的协程运行.
- 协程的切换是在用户态进行的, 比线程间的切换更快.

协程非常适合写网络程序, 可以实现同步的编程方式, 不需要异步回调, 大大减轻了程序员的思想负担。

co 协程库实现的是一种 **golang** 风格的协程, 有下面几个特性:

- 内置多个调度线程, 默认为系统 CPU 核数.
- 同一调度线程中的协程共用一个栈, 协程挂起时, 会将栈上数据 copy 出来, 切换回来时再将数据 copy 到栈上. 这种方式大大降低了内存占用, 单机可以轻松创建上百万协程.
- 各协程之间为平级关系, 可以在任何地方(包括在协程中)创建新的协程.

co 协程库在 linux, mac, windows 等平台, 分别基于 **epoll**, **kqueue**, **ioep** 实现。

co 协程库中 context 切换的相关代码，取自 [ruki](#) 的 [tbox](#)，而 tbox 则参考了 [boost](#) 的实现，在此表示感谢！

16.2 创建协程(go)

[golang](#) 中用关键字 [go](#) 创建协程，与之类似，co 库中提供 [go\(\)](#) 方法创建协程。

创建协程与创建线程类似，需要指定一个协程函数，go() 方法的第一个参数就是协程函数：

```
void go(void (*f)());
void go(void (*f)(void*), void* p); // p 指定函数参数

template<typename T>
void go(void (T::*f)(), T* p);      // p 绑定 T 类对象

void go(const std::function<void()>& f);
void go(std::function<void()>&& f);
```

实际测试发现，创建 [std::function](#) 类型的对象开销较大，因此 go() 特别对 [void f\(\)](#)、[void f\(void*\)](#)、[void T::f\(\)](#) 类型的函数进行了优化，实际应用中，应该优先使用这三类函数。

严格来说，go() 方法只是将 [callback](#) 分配到一个调度线程中，真正创建协程是由调度线程完成的。但从用户的角度看，逻辑上可以认为 go() 创建了协程，并分配到指定的调度线程中，等待被执行。

- 代码示例

```
go(f);                // void f();
go(f, p);             // void f(void*); void* p;
go(&T::f, p);         // void T::f(); T* p;
go(std::bind(f, 7));  // void f(int);
go(std::bind(&T::f, p, 7)); // void T::f(int); T* p;
```

16.3 协程 api

除 [go\(\)](#) 之外，co 协程库还提供了如下的几个 api (位于 namespace co 中)：

```
void sleep(unsigned int ms);
void stop();
int max_sched_num();
int sched_id();
int coroutine_id();
```

- [sleep](#) 在协程中调用时，调度线程会挂起此协程，切换到其他等待执行的协程运行。
- [stop](#) 会退出所有的调度线程，一般在进程退出前调用。
- [max_sched_num](#) 返回支持的最大调度线程数，目前这个值是系统 cpu 核数。
- [sched_id](#) 返回当前调度线程的 id，若当前线程不是调度线程，返回 -1。id 取值范围是 0 到 [max_sched_num-1](#)。
- [coroutine_id](#) 返回当前协程的 id，若当前线程不是协程，返回 -1。不同调度线程中的协程可能拥有相同的 id。
- 代码示例

```
// 每隔 1 秒打印出当前的 sched_id 与 coroutine_id
void f() {
    while (true) {
        co::sleep(1000);
        LOG << "sid: " << co::sched_id() << " cid: " << co::coroutine_id();
    }
}
```



```

    }
}

int main(int argc, char** argv) {
    flag::init(argc, argv);
    log::init();

    for (int i = 0; i < 32; ++i) go(f);

    sleep::sec(8); // 防止主线程立即退出
    co::stop();    // 退出所有调度线程
    return 0;
}

```

16.4 网络编程

co 包装了常用的 socket api，以支持一般的网络编程。这些 api 都在 **namespace co** 中，除了少数几个，一般必须在协程中调用。与原生 api 不同的是，这些 api 在 io 阻塞或调用 sleep 等操作时，调度线程会挂起当前协程，切换到其他等待执行的协程运行。

16.4.1 常用的 socket api

co 提供了一些常用的 socket api:

```

sock_t socket(int domain, int type, int proto);
sock_t tcp_socket(int af=AF_INET); // @af: address family, AF_INET, AF_INET6, etc.
sock_t udp_socket(int af=AF_INET); // @af: address family, AF_INET, AF_INET6, etc.

close shutdown bind listen accept getsockopt
recv recvfrom send sendto connect setsockopt

int recvn(sock_t fd, void* buf, int n, int ms=-1);

```

co 提供的 api 大部分形式上与原生的 socket api 一致，用法也几乎一样，只是有些细微的差别，说明如下:

- 原生 api 参数中的 **struct sockaddr*** 替换成了 **void***，免去手动转换的麻烦。
- **socket**, **tcp_socket**, **udp_socket** 用于创建 socket，创建的 socket 在 linux/mac 平台是非阻塞的，在 windows 平台则是 **overlapped** 的，无需用户另行设置。
- **close** 可以多带一个参数 **@ms** (默认为 0)，将当前协程挂起若干毫秒，再关闭 socket。
- **shutdown** 用单个字符 **@c** 指定关闭方向，**'r'** 关闭读，**'w'** 关闭写，默认关闭读写。

```
int shutdown(sock_t fd, char c='b');
```

- **accept** 返回的 socket 是非阻塞或 overlapped 的，无需用户另行设置。
- **connect**, **recv**, **recvn**, **recvfrom**, **send**, **sendto** 可以多带一个参数，指定超时时间 **@ms** (默认为 -1)。超时发生时，这些 api 返回 -1，并设置 errno 为 **ETIMEDOUT**。
- **recvn** 接收 **@n** 字节的 tcp 数据，全部接收完返回 n，连接断开返回 0，其他错误返回 -1。
- 注意: **accept**, **connect**, **recv**, **recvn**, **recvfrom**, **send** 与 **sendto** 必须在协程中调用。
- 特别注意: **close** 与 **shutdown** 虽然不会阻塞，但为了正常完成内部的清理工作，必须在协程所在的调度线程中调用。一般而言，在一个协程中进行 **recv**, **send** 等操作时，那么最好也在这个协程中调用 **close**, **shutdown** 关闭 socket。

上述 api 发生错误时返回 -1，可以用 `co::error()` 获取错误码，`co::strerror()` 查看错误描述。

16.4.2 常用的 socket option 设置

co 提供了下面的几个 api，用于设置常用的 socket 选项：

```
void set_reuseaddr(sock_t fd);           // 设置 SO_REUSEADDR
void set_tcp_nodelay(sock_t fd);         // 设置 TCP_NODELAY
void set_tcp_keepalive(sock_t fd);       // 设置 SO_KEEPALIVE
void set_send_buffer_size(sock_t fd, int n); // 设置发送缓冲区大小
void set_recv_buffer_size(sock_t fd, int n); // 设置接收缓冲区大小
```

16.4.3 其他 api

```
// 填充 ip 地址
bool init_ip_addr(struct sockaddr_in* addr, const char* ip, int port);
bool init_ip_addr(struct sockaddr_in6* addr, const char* ip, int port);

// ip 地址转换成字符串
fastring ip_str(struct sockaddr_in* addr);
fastring ip_str(struct sockaddr_in6* addr);

// 发送一个 RST，非正常关闭 tcp 连接，避免进入 timedwait 状态，多用于服务端
// @ms: 默认为 0，将当前协程挂起若干毫秒后，再发送 RST
void reset_tcp_socket(sock_t fd, int ms=0);

int error();           // 返回当前错误码
const char* strerror(); // 返回当前错误码对应的字符串
const char* strerror(int err); // 返回 @err 对应的字符串
```

16.4.4 hook 系统 api

在协程中调用 co 库的 socket api 不会阻塞，但一些三方库中调用的是系统的 socket api，仍然可能阻塞。为了解决这个问题，需要 hook 系统的 api，迫使三方库调用 hook 后的 api。

co 库目前在 linux/mac 平台已支持 hook，下面是 hook 的函数列表：

```
sleep    usleep    nanosleep

accept    accept4    connect    close    shutdown
read      readv      recv      recvfrom  recvmsg
write     writev     send      sendto    sendmsg
select    poll      gethostbyaddr  gethostbyname

gethostbyaddr_r  gethostbyname2    // linux
gethostbyname_r  gethostbyname2_r  // linux

epoll_wait // linux
kevent     // mac
```

用户一般不需要关心 api hook，有兴趣可以查看 [hook](#) 的源码实现。

16.4.5 基于协程的一般网络编程模式

协程可以实现高性能的同步网络编程方式。以 TCP 程序为例，服务端一般采用一个连接一个协程的模式，为每个连接创建新的协程，在协程中处理连接上的数据；客户端没必要一个连接一个协程，一般使用连接池，多个协程共用连接池中的

连接。

- 服务端处理连接数据的一般模式:

```
void server_fun() {
    while (true) {
        co::recv(...); // 接收客户端请求数据
        process(...);  // 业务处理
        co::send(...); // 发送结果到客户端
    }
    co::close(...);    // 关闭 socket
}
```

- 客户端处理连接数据的一般模式:

```
void client_fun() {
    co::send(...); // 发送请求数据到服务端
    co::recv(...); // 接收服务端响应数据
    process(...);  // 业务处理
}
```

16.4.6 基于协程的 tcp server/client 示例

- server 代码示例

```
struct Connection {
    sock_t fd; // conn fd
    fastring ip; // peer ip
    int port; // peer port
};

void on_new_connection(void* p) {
    std::unique_ptr<Connection> conn((Connection*)p);
    sock_t fd = conn->fd;
    co::set_tcp_keepalive(fd);
    co::set_tcp_nodelay(fd);

    char buf[8] = { 0 };

    while (true) {
        int r = co::recv(fd, buf, 4);
        if (r == 0) { // 客户端关闭了连接
            co::close(fd); // 调用 close 正常关闭连接
            break;
        } else if (r == -1) { // 异常错误, 直接 reset 连接
            co::reset_tcp_socket(fd, 1024);
            break;
        } else {
            LOG << "recv " << buf;
            LOG << "send pong";
            co::send(fd, "pong", 4);
        }
    }
}

void server_fun() {
    sock_t fd = co::tcp_socket();
    co::set_reuseaddr(fd);

    sock_t connfd;
    int addrlen = sizeof(sockaddr_in);
```

```

struct sockaddr_in addr;
co::init_ip_addr(&addr, "127.0.0.1", 7788);

co::bind(fd, &addr, sizeof(addr));
co::listen(fd, 1024);

while (true) {
    connfd = co::accept(fd, &addr, &addrlen);
    if (connfd == -1) continue;

    Connection* conn = new Connection;
    conn->fd = connfd;
    conn->ip = co::ip_str(&addr);
    conn->port = ntohs(addr.sin_port);

    // 为每个客户端连接创建一个新协程，在协程中处理连接上的数据
    co::go(on_new_connection, conn);
}
}

go(server_fun); // 启动 server 协程

```

- client 代码示例

```

void client_fun() {
    sock_t fd = co::tcp_socket();

    struct sockaddr_in addr;
    co::init_ip_addr(&addr, "127.0.0.1", 7788);

    co::connect(fd, &addr, sizeof(addr), 3000);
    co::set_tcp_nodelay(fd);

    char buf[8] = { 0 };

    for (int i = 0; i < 7; ++i) {
        co::sleep(1000);
        LOG << "send ping";
        co::send(fd, "ping", 4);
        co::recv(fd, buf, 4);
        LOG << "recv " << buf;
    }

    co::close(fd);
}

go(client_fun); // 启动 client 协程

```

16.5 协程的同步机制

co 协程库实现了与线程类似的同步机制，熟悉多线程编程的开发人员，很容易从线程切换到协程编程。

16.5.1 协程锁(co::Mutex)

co::Mutex 与线程库中的 **Mutex** 类似，只是需要在协程环境中使用。协程锁获取失败时，调度线程会挂起当前协程，调度线程自身不会阻塞。

另外，co 还提供一个 **co::MutexGuard** 类，用法与线程库中的 **MutexGuard** 一样。

- 代码示例

```

co::Mutex mtx;
int v = 0;

void f1() {
    co::MutexGuard g(mtx);
    ++v;
}

void f2() {
    co::MutexGuard g(mtx);
    --v;
}

go(f1);
go(f2);

```

16.5.2 协程同步事件(co::Event)

co::Event 与线程库中的 **SyncEvent** 类似，但需要在协程环境中使用。调用 **wait()** 方法时，调度线程会挂起当前协程，调度线程自身不会阻塞。

- 代码示例

```

co::Event ev;
int v = 0;

void f1() {
    // ev.wait(100); // 等待 100 ms
    ev.wait();      // 永久等待
    if (v == 2) v = 1;
}

void f2() {
    v = 2;
    ev.signal();
}

go(f1);
go(f2);

```

16.6 协程池

16.6.1 co::Pool

线程支持 **TLS** 机制，协程也可以支持类似的 **CLS** 机制，但考虑到系统中可能创建上百万协程，CLS 似乎不怎么高效，co 最终放弃了 CLS，取而代之实现了 **co::Pool** 类:

```

class Pool {
public:
    Pool();
    Pool(std::function<void*>&& ccb, std::function<void(void*)>&& dcb, size_t cap=(size_t)-1);

    void* pop();
    void push(void* p);

private:
    void* _p;
};

```

- 构造函数

第二个构造函数中的参数 **ccb** 与 **dcb** 可用于创建、销毁元素，**cap** 则用于指定 pool 的最大容量。此处的最大容量是对单个线程而言，如 cap 设置为 1024，调度线程有 8 个，则总的最大容量实际上是 8192。另外注意，最大容量只有在同时指定了 dcb 时有效。

- **pop**

此方法从 pool 中拉取一个元素。pool 为空时，若设置了 ccb，则调用 ccb 创建一个元素并返回；若没有设置 ccb，则返回 NULL。

- **push**

此方法将元素放回 pool 中，若元素为 NULL，则直接忽略。若超过最大容量，且指定了 dcb，则直接调用 dcb 销毁元素，而不放入 pool 中。

co::Pool 类是协程安全的，调用 pop, push 方法不需要加锁，但必须在协程中调用。

- 代码示例

```
co::Pool p;

void f {
    Redis* rds = (Redis*) p.pop();    // 从 pool 中拉取一个 redis 连接
    if (rds == NULL) rds = new Redis; // pool 为空时，创建新的 redis 连接

    rds->get("xx");                  // 调用 redis 的 get 方法
    p.push(rds);                     // 用完 redis, 放回 pool 中
}

go(f);
```

16.6.2 co::PoolGuard

co::PoolGuard 是一个模板类，它在构造时从 co::Pool 拉取元素，析构时将元素放回 co::Pool 中。另外, 它还重载了 **operator->**，可以像智能指针一样使用它。

- 代码示例

```
// 指定 ccb, dcb, 用于 Redis 的自动创建与销毁
co::Pool p(
    []() { return (void*) new Redis; }, // 指定 ccb
    [](void* p) { delete (Redis*)p; }  // 指定 dcb
);

void f() {
    co::PoolGuard<Redis> rds(p); // rds 可视为一个 Redis* 指针
    rds->get("xx");              // 调用 redis 的 get 方法
}

go(f);
```

使用 CLS 机制，100w 协程需要建立 100w 连接，但使用 pool 机制，100w 协程可能只需要共用少量的连接。Pool 看起来比 CLS 更高效、更合理，这也是本协程库不支持 CLS 的原因。

16.7 配置项

co 库支持的配置项如下：

- `co_sched_num`

调度线程数，默认为系统 CPU 核数，目前的实现中，这个值必须 \leq CPU 核数。

- `co_stack_size`

协程栈大小，默认为 1M。每个调度线程都会分配一个栈，调度线程内的协程共用这个栈。

- `co_max_recv_size`

`co::recv` 一次能接收的最大数据长度，默认为 1M，超过此大小，分批接收。

- `co_max_send_size`

`co::send` 一次能发送的最大数据长度，默认为 1M，超过此大小，分批发送。

17. 网络库(so)

include: `co/so.h`.

`so` 是基于协程的网络库，包含 `tcp`, `http`, `rpc` 三个模块。

17.1 TCP 编程

`so/tcp` 模块实现了 `tcp::Server` 与 `tcp::Client` 类，它们同时支持 `ipv4` 与 `ipv6`，可用于一般性的 TCP 编程。

17.1.1 `tcp::Server`

```
namespace tcp {
struct Connection {
    sock_t fd;    // conn fd
    fastring ip;  // peer ip
    int port;     // peer port
    void* p;      // pointer to Server where this connection was accepted
};

class Server {
public:
    Server(const char* ip, int port)
        : _ip((ip && *ip) ? ip : "0.0.0.0"), _port(port) {}

    virtual ~Server() = default;

    virtual void start() {
        go(&Server::loop, this);
    }

    virtual void on_connection(Connection* conn) = 0;

protected:
    fastring _ip;
    uint32 _port;

private:
    void loop();
};
} // tcp
```

tcp::Server 采用一个连接一个协程的模型，调用 **start()** 方法即进入事件循环，接收到新连接时，就创建一个协程，在协程中调用 **on_connection()** 方法，处理连接上的数据。

此类只能做为基类使用，用户需要继承此类，并实现 on_connection() 方法，注意参数 **conn** 是动态分配的，用户使用完后需要 delete 掉。

co/test 中有一个 demo，基于 tcp::Server 实现了一个简单的 pingpong server，源码见 [pingpong.cc](#)。

17.1.2 tcp::Client

tcp::Client 必须在协程环境中使用，用户需要手动调用 **connect()** 方法建立连接。建议在调用 **recv**, **send** 之前，判断连接是否建立，没有的话，就调用 connect() 建立连接，这种方式容易实现自动重连。

一个 tcp::Client 对应一个连接，不要同时在多个协程中使用同一个 tcp::Client 对象。co 协程库理论上支持两个协程同时使用一个连接，一个协程 recv，一个协程 send，但不推荐这种用法。标准的做法是，recv 与 send 都在同一个协程中完成，以实现同步的编码方式。

一般建议将 tcp::Client 放到 **co::Pool** 中，多个协程共用 pool 中的连接。对每个协程而言，需要时即从 pool 中取出一个空闲连接，用完后再放回 pool 中，这种方式可以减少所需的连接数。

tcp::Client 的具体用法，可以参考 [pingpong.cc](#) 中的 **client_fun()**，另外还可以参考 [http::Client](#) 与 [rpc::Client](#) 的实现。

17.2 HTTP 编程

so/http 模块基于 **so/tcp** 模块实现了 **http::Server** 类与 **http::Client** 类，同时还提供一个 **so::easy()** 方法，用于快速的创建静态 web server。

17.2.1 实现一个简单的 http server

```
http::Server serv("0.0.0.0", 80);

serv.on_req(
    [](const http::Req& req, http::Res& res) {
        if (req.is_method_get()) {
            if (req.url() == "/hello") {
                res.set_status(200);
                res.set_body("hello world");
            } else {
                res.set_status(404);
            }
        } else {
            res.set_status(501);
        }
    }
);

serv.start();
```

用户只需指定 ip 和端口，调用 **on_req()** 方法注册一个用于处理 HTTP 请求的 callback，然后就可以调用 **start()** 方法启动 server。

co/test 提供了一个简单的 [demo](#)，读者可以按下述方式编译运行：

```
xmake -b http_serv
xmake r http_serv
```


启动 http server 后，可以在浏览器的地址栏中输入 `127.0.0.1/hello` 看结果。

17.2.2 实现一个静态 web server

```
#include "co/flag.h"
#include "co/log.h"
#include "co/so.h"

DEF_string(d, ".", "root dir"); // 指定 web server 根目录

int main(int argc, char** argv) {
    flag::init(argc, argv);
    log::init();

    so::easy(FLG_d.c_str()); // mum never have to worry again

    return 0;
}
```

`co/test` 中的 `easy.cc` 即利用 `so::easy()` 实现了一个 web server，可以编译运行如下：

```
xmake -b easy
xmake r easy -d xxx # xxx 作为 web server 的根目录
```

17.2.3 http client 的用法

```
http::Client cli("www.xxx.com", 80);
http::Req req;
http::Res res;

req.set_method_get();
req.set_url("/");
cli.call(req, res); // 获取 www.xxx.com 首页

fastring s = res.body();
```

上述代码中，利用 `http::Req` 与 `http::Res` 类，用户可以精准的控制各种细节。如果想偷懒的话，也可以写成下面这样：

```
http::Client cli("www.xxx.com", 80);
fastring s = cli.get("/");
fastring x = cli.post("/url", "body");
```

`http::Client` 继承于 `tcp::Client`，必须在协程中使用。`http::Client` 会在 `call()` 方法中自动建立连接，无需用户手动调用 `connect()`。

`co/test` 提供了一个简单的 `demo`，可以按下述方式编译运行：

```
xmake -b http_cli
xmake r http_cli -ip=github.com -port=80
```

17.2.4 配置项

- `http_max_header_size`

指定 http header 部分的最大长度，默认为 `4k`。

- http_max_body_size

指定 http body 部分的最大长度，默认为 **8M**。

- http_recv_timeout

指定 http recv 操作的超时时间，单位毫秒，默认为 **1024 ms**。

- http_send_timeout

指定 http send 操作的超时时间，单位毫秒，默认为 **1024 ms**。

- http_conn_timeout

指定 http connect 操作的超时时间，单位毫秒，默认为 **3000 ms**。

- http_conn_idle_sec

指定 http server 空闲连接的超时时间，单位为秒，默认为 **180** 秒。

- http_max_idle_conn

指定 http server 最大空闲连接数，默认为 **128**。

- http_log

http 日志开关，默认为 **true**。(注意日志只打印 http 的头部)

17.3 rpc 框架

so/rpc 模块基于 **so/tcp** 实现了一个 rpc 框架，内部使用 **tcp/json** 作为传输协议，简单的测试显示单线程 qps 可以达到 **12w+**。json 与基于结构体的二进制协议相比，至少有下面几个好处：

- 抓包可以直接看到传输的 json 对象，方便调试。
- rpc 调用直接传输 json 对象，不需要定义各种结构体，大大减少代码量。
- rpc 调用参数形式一致，固定为 **(const Json& req, Json& res)**，很容易自动生成代码。
- 可以实现通用的 rpc client，不需要为不同的 rpc server 生成不同的 client 代码。

17.3.1 rpc server 接口介绍

rpc server 的接口非常简单：

```
namespace rpc {
class Service {
public:
    virtual ~Service() = default;
    virtual void process(const Json& req, Json& res) = 0; // 业务处理
};

class Server {
public:
    virtual ~Server() = default;
    virtual void start() = 0; // 启动 rpc server 协程
    virtual void add_service(Service*) = 0; // server 启动前必须先添加 Service 的实现
};

// 创建一个 rpc server, passwd 非空时，客户端连接后需要进行密码认证
```

```
Server* new_server(const char* ip, int port, const char* passwd="");
} // rpc
```

rpc::Server 接收客户端连接，为每个连接创建一个新协程，新协程接收客户端请求，然后同步调用 **rpc::Service** 提供的 **process()** 方法处理请求，最后将结果发送回客户端。

具体的业务处理，需要继承 **rpc::Service** 并实现 **process()** 方法。实际上，**process()** 的代码是自动生成的，用户只需要实现具体的 **rpc** 调用方法。

17.3.2 rpc proto 文件介绍

下面是一个简单的 proto 文件 **hello_world.proto**:

```
// # 或 // 表示 注释
package xx // namespace xx

service HelloWorld {
    hello,
    world,
}

hello.req {
    "method": "hello"
}

hello.res {
    "method": "hello",
    "err": 200,
    "errmsg": "200 ok"
}

world.req {
    "method": "world"
}

world.res {
    "method": "world",
    "err": 200,
    "errmsg": "200 ok"
}
```

package xx 表示将代码生成到命名空间 **xx** 中，还可以用 **package xx.yy.zz** 生成嵌套命名空间。

service HelloWorld 定义一个继承 **rpc::Service** 的 **service** 类，**hello, world** 是它提供的两个 **rpc** 方法。

hello.req, hello.res, world.req, world.res 是请求参数及响应结果的示例，生成代码时不需要这些。

需要注意，一个 proto 文件只能定义一个 **service**。

17.3.3 rpc 代码生成器

代码生成器源码见 **co/gen** 目录，可按下述方法构建 **gen**，并根据 proto 文件自动生成代码。

```
xmake -b gen          # 构建 gen
gen hello_world.proto # 生成代码
```

下面是生成的 C++ 头文件 **hello_world.h**:

```

#pragma once

#include "co/so/rpc.h"
#include "co/hash.h"
#include <unordered_map>

namespace xx {

class HelloWorld : public rpc::Service {
public:
    typedef void (HelloWorld::*Fun)(const Json&, Json&);

    HelloWorld() {
        _methods[hash64("ping")] = &HelloWorld::ping;
        _methods[hash64("hello")] = &HelloWorld::hello;
        _methods[hash64("world")] = &HelloWorld::world;
    }

    virtual ~HelloWorld() {}

    virtual void process(const Json& req, Json& res) {
        Json& method = req["method"];
        if (!method.is_string()) {
            res.add_member("err", 400);
            res.add_member("errmsg", "400 req has no method");
            return;
        }

        auto it = _methods.find(hash64(method.get_string(), method.size()));
        if (it == _methods.end()) {
            res.add_member("err", 404);
            res.add_member("errmsg", "404 method not found");
            return;
        }

        (this->*it->second)(req, res);
    }

    virtual void ping(const Json& req, Json& res) {
        res.add_member("method", "ping");
        res.add_member("err", 200);
        res.add_member("errmsg", "pong");
    }

    virtual void hello(const Json& req, Json& res) = 0;

    virtual void world(const Json& req, Json& res) = 0;

private:
    std::unordered_map<uint64, Fun> _methods;
};

} // xx

```

可以看到 HelloWorld 的构造函数已经将 hello, world 方法注册到内部的 map 中，process() 方法根据 req 中的 **method** 字段，调用对应的 rpc 方法。用户只需继承 **HelloWorld** 类，实现具体进行业务处理的 hello, world 方法即可。

业务处理方法可能在不同的线程中调用，实现时需要注意线程安全性。业务处理方法内部需要连接到其他网络服务时，可以用协程安全的 **co::Pool** 管理这些网络连接。

生成的头文件可以直接放到 server 代码所在目录，客户端不需要用到。客户端只需参考 proto 文件中的 req/res 定义，就知道怎么构造 req 发起 rpc 调用了。

17.3.4 实现 rpc server

下面的示例代码 `hello_world.cc` 给出了一个简单的实现:

```
#include "hello_world.h"

namespace xx {

class HelloWorldImpl : public HelloWorld {
public:
    HelloWorldImpl() = default;
    virtual ~HelloWorldImpl() = default;

    virtual void hello(const Json& req, Json& res) {
        res.add_member("method", "hello");
        res.add_member("err", 200);
        res.add_member("errmsg", "200 ok");
    }

    virtual void world(const Json& req, Json& res) {
        res.add_member("method", "world");
        res.add_member("err", 200);
        res.add_member("errmsg", "200 ok");
    }
};

} // xx
```

完成上述的业务实现后, 就可以启动 rpc server, 一般只需要如下的三行代码:

```
rpc::Server* server = rpc::new_server("127.0.0.1", 7788, "passwd");
server->add_service(new xx::HelloWorldImpl);
server->start();
```

注意调用 `start()` 方法会创建一个协程, `server` 在协程中运行, 防止主线程退出是用户需要关心的事。

17.3.5 rpc client

rpc client 的接口如下:

```
class Client {
public:
    virtual ~Client() = default;
    virtual void ping() = 0; // send a heartbeat
    virtual void call(const Json& req, Json& res) = 0;
};

Client* new_client(const char* ip, int port, const char* passwd="");
} // rpc
```

`rpc::new_client()` 创建一个 rpc client, 服务端若设置了密码, 客户端需要带上密码进行认证。

`call()` 方法发起 rpc 调用, 不同的 rpc 请求可以用 req 中的 method 字段标志。

`ping()` 方法用于给 server 端发送心跳。

- 特别提醒
 - `rpc::Client` 创建时, 并没有立即建立连接, 第一次发起 rpc 请求才会建立连接。
 - `delete rpc::Client` 会关闭连接, 这个操作需要在协程内进行。

下面是一个简单的 rpc client 示例:

```
void client_fun() {
    rpc::Client* c = rpc::new_client("127.0.0.1", 7788, "passwd");

    for (int i = 0; i < 10000; ++i) {
        Json req, res;
        req.add_member("method", "hello");
        c->call(req, res); // 调用 hello 方法
    }

    delete c; // 在协程内 delete, 是安全关闭连接所需要的
}

int main(int argc, char** argv) {
    go(client_fun); // 创建协程
    while (1) sleep::sec(7);
    return 0;
}
```

需要注意, 一个 `rpc::Client` 对应一个连接, 不要在多个线程中使用同一个 `rpc::Client`。多线程环境中, 可以使用 `co::Pool` 管理客户端连接, 下面是一个例子:

```
co::Pool p(
    std::bind(&rpc::new_client, "127.0.0.1", 7788, "passwd"),
    [](void* p) { delete (rpc::Client*) p; }
);

void client_fun() {
    co::PoolGuard<rpc::Client> c(p);

    for (int i = 0; i < 10; ++i) {
        Json req, res;
        req.add_member("method", "hello");
        c->call(req, res); // 调用 hello 方法
    }
}

// 创建 8 个协程
for (int i = 0; i < 8; ++i) {
    go(client_fun);
}
```

17.3.6 配置项

- `rpc_max_msg_size`

rpc 消息最大长度, 默认为 **8M**。

- `rpc_recv_timeout`

rpc 接收数据超时时间, 单位为毫秒, 默认 **1024** 毫秒。

- `rpc_send_timeout`

rpc 发送数据超时时间, 单位为毫秒, 默认 **1024** 毫秒。

- `rpc_conn_timeout`

rpc 连接超时时间, 单位为毫秒, 默认 **3000** 毫秒。

- `rpc_conn_idle_sec`

rpc 空闲连接超时时间，单位为秒，默认 **180** 秒。一个连接超过此时间没有收到任何数据，server 可能会关掉此连接。

- `rpc_max_idle_conn`

最大空闲连接数，默认为 **128**。连接数超过此值，server 会关掉一些空闲连接(`rpc_conn_idle_sec` 时间内没有接收到数据的连接)。

- `rpc_log`

是否打印 rpc 日志，默认为 **true**。

18. hash 库(hash)

include: [co/hash.h](#).

hash 库提供了如下的几个函数：

- `murmur_hash`

返回结果为 **size_t** 类型，`std::hash<fastring>` 的实现即使用了此 hash 函数。

- `hash64`

计算 64 位的 hash 值，内部使用 **murmur 2 hash** 算法。

- `hash32`

计算 32 位的 hash 值，32 位系统使用 murmur 2 的 32 位版本，64 位系统直接取 **hash64** 的低 32 位。

- `md5sum`

计算字符串或指定长度数据的 md5 值，返回 **32** 字节的字符串。

- `crc16`

计算字符串或指定长度数据的 crc16 值，实现取自 [redis](#)。

- `base64_encode`

base64 编码，不添加 **\r**，**\n**，实际应用中，没有必要添加。

- `base64_decode`

base64 解码，解码失败时抛出 `const char*` 类型的异常。

- 代码示例

```
uint64 h = hash64(s);           // 计算字符串 s 的 hash 值
uint64 h = hash64(s, n);        // 计算指定长度数据的 hash 值
uint32 h = hash32(s);           // 计算 32 位 hash 值
fastring s = md5sum("hello world"); // 计算字符串的 md5, 返回结果为 32 字节
uint16 x = crc16("hello world"); // 计算字符串的 crc16
fastring e = base64_encode(s);   // base64 编码, 不会抛出异常
fastring d = base64_decode(e);   // base64 解码, d 应该与 s 相同
```

19. path 库(path)

include: `co/path.h`.

path 库移植于 `golang`, path 分隔符必须为 `'/'`。

- **path::clean()**

返回路径的最短等价形式, 路径中连续的分隔符会被清除掉。

```
path::clean("./x//y/"); // return "x/y"
path::clean("./x/.."); // return "."
path::clean("./x/./.."); // return ".."
```

- **path::join()**

将任意数量的字符串拼接成一个完整的路径, 返回 `path::clean()` 处理后的结果。

```
path::join("x", "y", "z"); // return "x/y/z"
path::join("/x/", "y"); // return "x/y"
```

- **path::split()**

将路径切分为 `dir`, `file` 两部分, 若路径中不含分隔符, 则 `dir` 部分为空。返回结果满足性质 **`path = dir + file`**。

```
path::split("/"); // -> { "/", "" }
path::split("/a"); // -> { "/", "a" }
path::split("/a/b"); // -> { "/a/", "b" }
```

- **path::dir()**

返回路径的目录部分, 返回 `path::clean()` 处理后的结果。

```
path::dir("a"); // return "."
path::dir("a/"); // return "a"
path::dir("/"); // return "/"
path::dir("/a"); // return "/";
```

- **path::base()**

返回路径最后的一个元素。

```
path::base(""); // return "."
path::base("/"); // return "/"
path::base("/a/"); // return "a" 忽略末尾的分隔符
path::base("/a"); // return "a"
path::base("/a/b"); // return "b"
```

- **path::ext()**

函数返回路径中文件名的扩展名。

```
path::ext("/a.cc"); // return ".cc"
path::ext("/a.cc/"); // return ""
```

20. 文件系统操作(fs)

include: `co/fs.h`.

`fs` 库最小限度的实现了常用的文件系统操作，不同平台 `path` 分隔符建议统一使用 `'/'`。

20.1 元数据操作

- 代码示例

```
bool x = fs::exists(path); // 判断文件是否存在
bool x = fs::isdir(path);  // 判断文件是否为目录
int64 x = fs::mtime(path); // 获取文件的修改时间
int64 x = fs::fsize(path); // 获取文件的大小

fs::mkdir("a/b");          // mkdir a/b
fs::mkdir("a/b", true);    // mkdir -p a/b

fs::remove("x/x.txt");     // rm x/x.txt
fs::remove("a/b");         // rmdir a/b   删除空目录
fs::remove("a/b", true);   // rm -rf a/b

fs::rename("a/b", "a/c");  // 重命名
fs::symlink("/usr", "x");  // 软链接 x -> /usr, windows 需要 admin 权限
```

20.2 文件的基本读写操作

`fs` 库实现了 `fs::file` 类，支持文件的基本读写操作。

- `fs::file` 类的特性

- 支持 `r`, `w`, `a`, `m` 四种读写模式，前三种与 `fopen` 保持一致，`m` 与 `w` 类似，但不会清空已存在文件的数据。
- 不支持缓存，直接读写文件。
- 支持 `move` 语义，可以将 `file` 对象直接放入 STL 容器中。

- 代码示例

```
fs::file f; // 后续可调用 f.open() 打开文件
fs::file f("xx", 'r'); // 读模式打开文件

// 自动关闭之前打开的文件
f.open("xx", 'a'); // 追加写，文件不存在时创建
f.open("xx", 'w'); // 一般写，文件不存在时创建，文件存在时清空数据
f.open("xx", 'm'); // 修改写，文件不存在时创建，文件存在时不清数据

if (f) f.read(buf, 512); // 读取最多 512 字节
f.write(buf, 32);        // 写入 32 字节
f.write("hello");        // 写入字符串
f.write('c');            // 写入单个字符
f.close();              // 关闭文件，file 析构时会调用 close()
```

20.3 文件流(fs::fstream)

`fs::file` 不支持缓存，写小文件性能较差，为此，`fs` 库另外提供了 `fs::fstream` 类。

- `fs::fstream` 类的特性

- 只写不读，仅支持 `w`, `a` 两种模式。
- 可以自定义缓存大小，默认为 `8k`。

- 支持 **move** 语义，可将 `fstream` 对象放入 STL 容器中。

- 代码示例

```
fs::fstream s; // 默认缓存为 8k
fs::fstream s(4096); // 指定缓存为 4k
fs::fstream s("path", 'a'); // 追加模式，缓存默认为 8k
fs::fstream s("path", 'w', 4096); // 写模式，指定缓存为 4k

s.open("path", 'a'); // 打开文件，自动关闭之前已经打开的文件
if (s) s << "hello world" << 23; // 流式写
s.append(data, size); // 追加指定长度的数据
s.flush(); // 将缓存中数据写入文件
s.close(); // 关闭文件，析构时会自动关闭
```

21. 系统操作(os)

include: `co/os.h`.

```
os::homedir(); // 返回 home 目录路径
os::cwd(); // 返回当前工作目录路径
os::exepath(); // 返回当前进程路径
os::exename(); // 返回当前进程名
os::pid(); // 返回当前进程 id
os::cpunum(); // 返回 cpu 核数
os::daemon(); // 后台运行，仅支持 Linux 平台
```

22. 编译

xmake

CO 推荐使用 **xmake** 进行编译。

- 编译器

- Linux: **gcc 4.8+**
- Mac: **clang 3.3+**
- Windows: **vs2015+**

- 安装 xmake

windows, mac 与 debian/ubuntu 可以直接去 xmake 的 [release](#) 页面下载安装包，其他系统请参考 xmake 的 [Installation](#) 说明。

xmake 在 linux 上默认禁止 root 用户编译，**ruki** 说不安全，可以在 `~/.bashrc` 中加上下面的一行，启用 root 编译：

```
export XMAKE_ROOT=y
```

- 快速上手

```
# 所有命令都在 co 根目录执行，后面不再说明
xmake # 默认编译 libco 与 gen
xmake -a # 编译所有项目 (libco, gen, co/test, co/unitest)
```

- 编译 libco

```
xmake build libco      # 编译 libco
xmake -b libco         # 与上同
```

- 编译及运行 unittest 代码

[co/unittest](#) 是单元测试代码，用于检验 libco 库功能的正确性。

```
xmake build unittest    # build 可以简写为 -b
xmake run unittest -a    # 执行所有单元测试
xmake r unittest -a     # 同上
xmake r unittest -os    # 执行单元测试 os
xmake r unittest -json  # 执行单元测试 json
```

- 编译及运行 test 代码

[co/test](#) 包含了一些测试代码。co/test 目录下增加 **xxx.cc** 源文件，然后在 co 根目录下执行 **xmake build xxx** 即可构建。

```
xmake build flag        # 编译 flag.cc
xmake build log         # 编译 log.cc
xmake build json        # 编译 json.cc
xmake build rapidjson   # 编译 rapidjson.cc
xmake build rpc         # 编译 rpc.cc
xmake build easy        # 编译 so/easy.cc
xmake build pingpong    # 编译 so/pingpong.cc

xmake r flag -xz        # 测试 flag 库
xmake r log            # 测试 log 库
xmake r log -cout      # 终端也打印日志
xmake r log -perf      # log 库性能测试
xmake r json           # 测试 json
xmake r rapidjson      # 测试 rapidjson
xmake r rpc            # 启动 rpc server
xmake r rpc -c         # 启动 rpc client
xmake r easy -d xxx     # 启动 web server
xmake r pingpong       # pingpong server: 127.0.0.1:9988
xmake r pingpong ip::: # pingpong server: :::9988 (ipv6)
xmake r pingpong -c ip:::1 # pingpong client -> ::1:9988
```

- 编译 gen

```
# 建议将 gen 放到系统目录下(如 /usr/local/bin/).
xmake build gen
gen hello_world.proto
```

proto 文件格式可以参考 [hello_world.proto](#)。

- 安装

```
# 默认安装头文件、libco、gen
xmake install -o pkg      # 打包安装到 pkg 目录
xmake i -o pkg           # 同上
xmake install -o /usr/local # 安装到 /usr/local 目录
```

cmake

[izhengfan](#) 帮忙提供了 cmake 支持:

- 默认只编译 **libco** 与 **gen**.
- 编译生成的库文件在 `build/lib` 目录下，可执行文件在 `build/bin` 目录下.
- 可以用 **BUILD_ALL** 指定编译所有项目.
- 可以用 **CMAKE_INSTALL_PREFIX** 指定安装目录.

```
mkdir build && cd build
cmake ..
cmake .. -DBUILD_ALL=ON -DCMAKE_INSTALL_PREFIX=pkg
make -j8
make install
```

23. 结束语

这份文档其实还可以写得更详细一点，终因语言乏力、精力有限作罢，只能说声抱歉了。文档中难免有些疏漏、错误之处，敬请海涵与指正！

- 有问题请提交到 [github](#).
- 赞助、商务合作请联系 idealvin@qq.com.
- 支持作者请扫码:

