道哥的第 020 篇原创

一、Linux 系统中的进程之间通信(IPC)

作为一名嵌入式软件开发人员来说，处理进程之间的通信是很常见的事情。从通信目的的角度来看，我们可以把进程之间的通信分成 3 种：

1. 为了进程的调度: 可以通过信号来实现;
2. 为了共享资源：可以通过互斥锁、信号量、读写锁、文件锁等来实现;
3. 为了传递数据：可以通过共享内存、命名管道、消息队列、Socket来实现。

关于上面提到的这些、操作系统为我们提供的通信原语，网络上的各种资料、文章满天飞，在这里就不啰嗦了。在这些方法中应该如何选择呢？根据我个人的经验，贵精不贵多，认真挑选三四样东西就能完全满足日常的工作需要。

我们今天想讨论的问题主要是第 3 个：传递数据，在上面这几种传递数据的方法中，我最喜欢、最常用的就是 Socket 通信。

有些小伙伴可能会说：Socket 通信就是 TCP/IP 的那一套东西，还需要自己管理连接、对数据进行组包、分包，也是挺麻烦的。

没错，Socket 通信本身的确需要手动来处理这些底层的东西，但是我们可以给 Socket 穿上一层“外衣”：利用 MQTT 消息总线，在系统的各进程之间进行数据交互，下面我们就一一道来。

二、基于 Socket 通信的优点

这里我就不自己发挥了，直接引用陈硕老师的那本书《Linux 多线程服务端编程》这本书中的观点(第 65 页，3.4小节)：

1. 跨主机，具有伸缩性

反正都是多进程了，如果一台机器的处理能力不够，就能用多台主机来处理。把进程分散到同一台局域网的多台机器上，程序改改 Host:Port 配置就能继续用。相反，文章开头部分列出的那些进程之间通信方式都不能跨机器，这就限制了可扩展性。

2. 操作系统会自动回收资源

TCP port 由一个进程独占，当程序意外退出时，操作系统会自动回收资源，不会给系统留下垃圾，程序重启之后能比较容易地恢复。

3. 可记录、可重现

两个进程通过 TCP 通信，如果一个崩溃了，操作系统会关闭连接，另一个进程几乎立刻就能感受到，可以快速 failover。当然应用层的心跳是必不可少的。(补充：操作系统本身对于 TCP 连接有一个保活时间，默认是 2 个小时，而且是针对全局的。)

4. 跨语言

服务端和客户端不必使用同一种编程语言。

> 1. 陈硕老师描述的是通用的 Socket 通信，因此客户端和服务端一般位于不同的物理机器上。
> 2. 在嵌入式开发中，一般都是用同一种编程语言，因此，跨语言这个有点可以忽略不计了。

三、MQTT 消息总线

1. MQTT 是一个通信的机制

对物联网领域熟悉的小伙伴，对于 MQTT 消息总线一定非常熟悉，目前几大物联网云平台（亚马孙、阿里云、华为云）都提供了 MQTT 协议的接入方式。

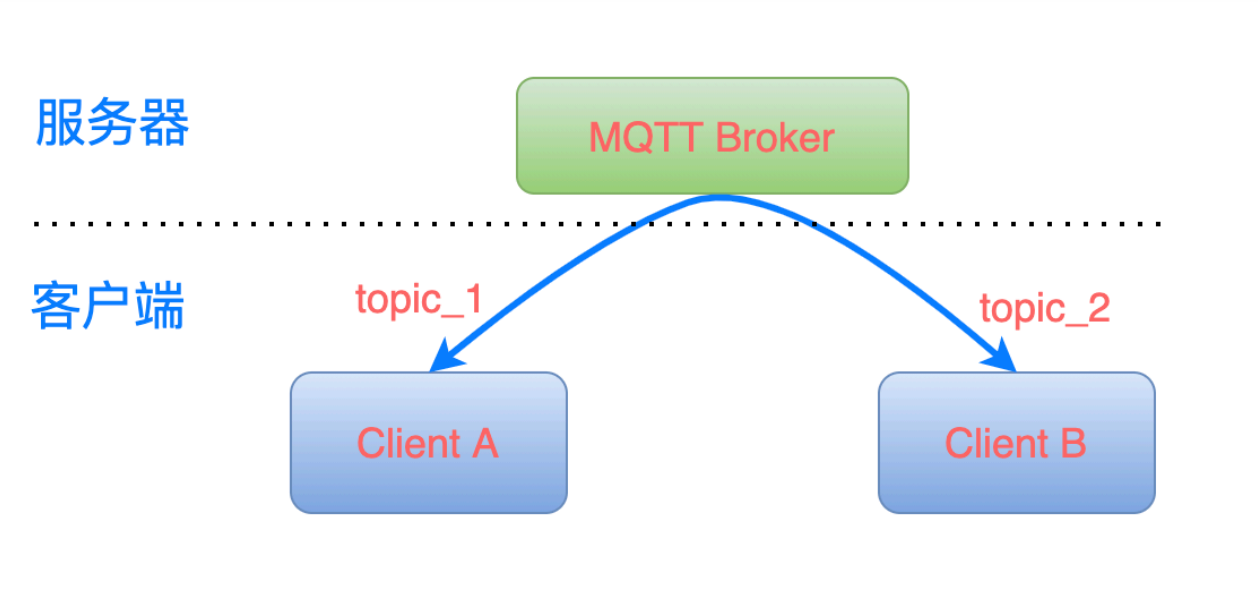
目前，学习 MQTT 最好的文档是 IBM 的在线手册：https://developer.ibm.com/zh/technologies/messaging/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot/。

这里，我直接把一些重点信息列出来：

> 1. MQTT协议轻量、简单、开放和易于实现；
> 2. MQTT 是基于发布 (Publish)/订阅 (Subscribe)范式的消息协议；
> 3. MQTT 工作在 TCP/IP协议族上；

4. 有三种消息发布服务质量；
5. 小型传输，开销很小（固定长度的头部是 2 字节），协议交换最小化，以降低网络流量；

MQTT 消息传输需要一个中间件，称为：Broker，其实也就是一个 Server。通信模型如下：



1. MQTT Broker 需要首先启动；
2. ClientA 和 ClientB 需要连接到 Broker;
3. ClientA 订阅主题 topic_1，ClientB 订阅主题 topic_2;
4. ClientA 往 topic_2 这个主题发送消息，就会被 ClientB 接收到；
5. ClientB 往 topic_1 这个主题发送消息，就会被 ClientA 接收到；

基于 topic 主题的通信方式有一个很大的好处就是解耦，一个客户端可以订阅多个 topic，任何接入到总线的其他客户端都可以往这些 topic 中发送信息(一个客户端发送消息给自己也是可以的)。

2. MQTT 的实现

MQTT 只是一个协议而已，在 IBM 的在线文档中可以看到，有很多语言都实现了 MQTT 协议，包括：C/C++、Java、Python、C#、JavaScript、Go、Objective-C等等。那么对于嵌入式开发来说，使用比较多的是这几个实现：

Mosquitto;
Paho MQTT;
wolfMQTT;
MQTTRoute。

在下面，我们会重点介绍 Mosquitto 这个开源实现的编译和使用方式，这也是我在项目中使用最多的。

3. 在 MQTT 之上，设计自己的通信协议

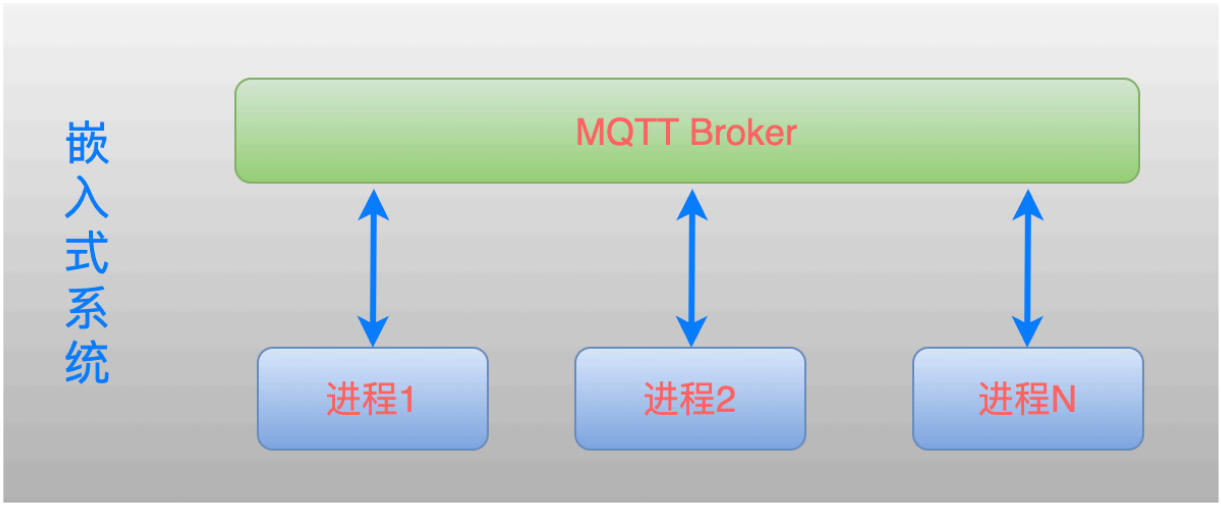
从上面的描述中可以看出，MQTT 消息总线就是一个通信机制，为通信主体提供了一个传递数据的通道而已。

在这个通道之上，我们可以根据实际项目的需要，发送任何格式、编码的数据。在项目中，我们最常用的就是 json 格式的纯文本，这也是各家物联网云平台所推荐的方式。如果在文本数据中需要包含二进制数据，那就转成 BASE64 编码之后再发送。

四、嵌入式系统中如何利用 MQTT 消息总线

从上面的描述中可以看到，只要在服务端运行着一个 MQTT Broker 服务，每个连接到总线的客户端都可以灵活地相互收发数据。

我们可以把这个机制应用在嵌入式应用程序的设计中：MQTT Broker 作为一个独立的服务运行在嵌入式系统本地，其他需要交互的进程，只要连接到本地的这个 Broker，就可以相互发送数据了。运行模型如下：

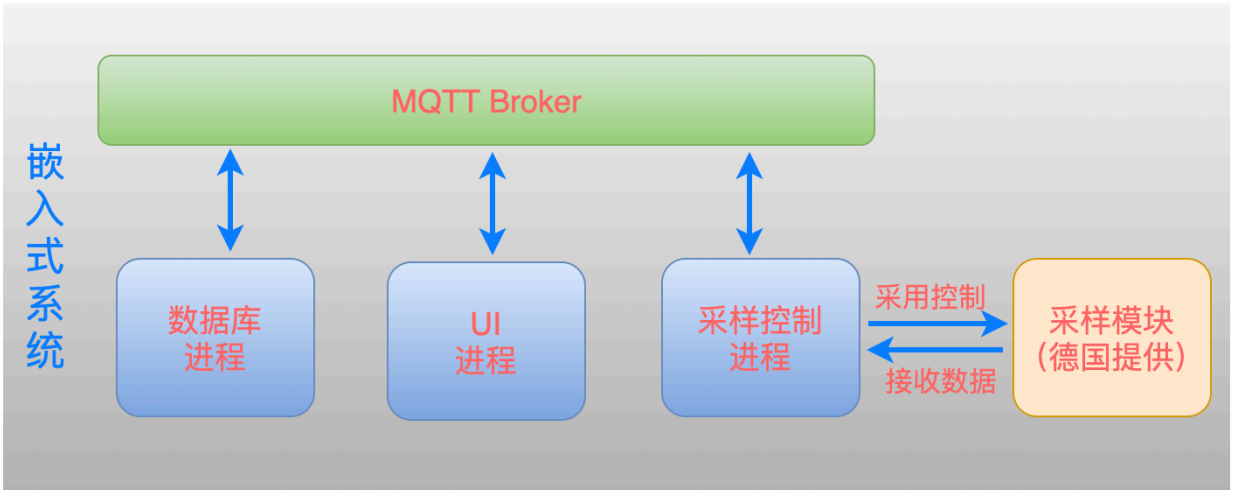


每一个进程只需要订阅一个固定的 topic（比如：自己的 client Id），那么其他进程如果想要发送数据给它，就直接发送到这个 topic 即可。

1. 一个嵌入式系统的通信框架

我之前开发过一个环境监测系统，采集大气中的 PM2.5、PM10等污染物参数，在 Contex A8 平台下开发，需要实现数据记录(数据库)、UI 监控界面等功能。

污染物的数据采样硬件模块是第三方公司提供的，我们只需要通过该模块提供的串口协议去控制采样设备、接收采样数据即可。最终设计的通信模型如下：



1. UI 进程通过消息总线，发送控制指令给采样控制进程，采样控制进程接收到后通过串口发送控制指令给采样模块；
2. 采样控制进程从串口接收采样模块发来的PM2.5等数据后，把所有的数据发送到消息总线上指定

> 的 topic 中；
> 3. UI 进程程订阅该 topic，接收到数据后，显示在屏幕上；
> 4. 数据库进程也订阅该 topic，接收到数据后，把数据存储在 SQLite 数据库中；

在这个产品中，核心进程是采样控制进程，负责与采样模块的交互。通过把 UI 处理、数据库处理设计成独立的进程，降低了系统的复杂性，即使这 2 个进程崩溃了，也不会影响到核心的采样控制进程。

比如：如果 UI 进程出现错误崩溃了，会立刻重启，启动之后通过缓存信息知道此刻正在执行采样工作，于是 UI 进程立刻连接到消息总线、进入采样数据显示界面，继续接收、显示采样控制进程发出的PM2.5等数据。

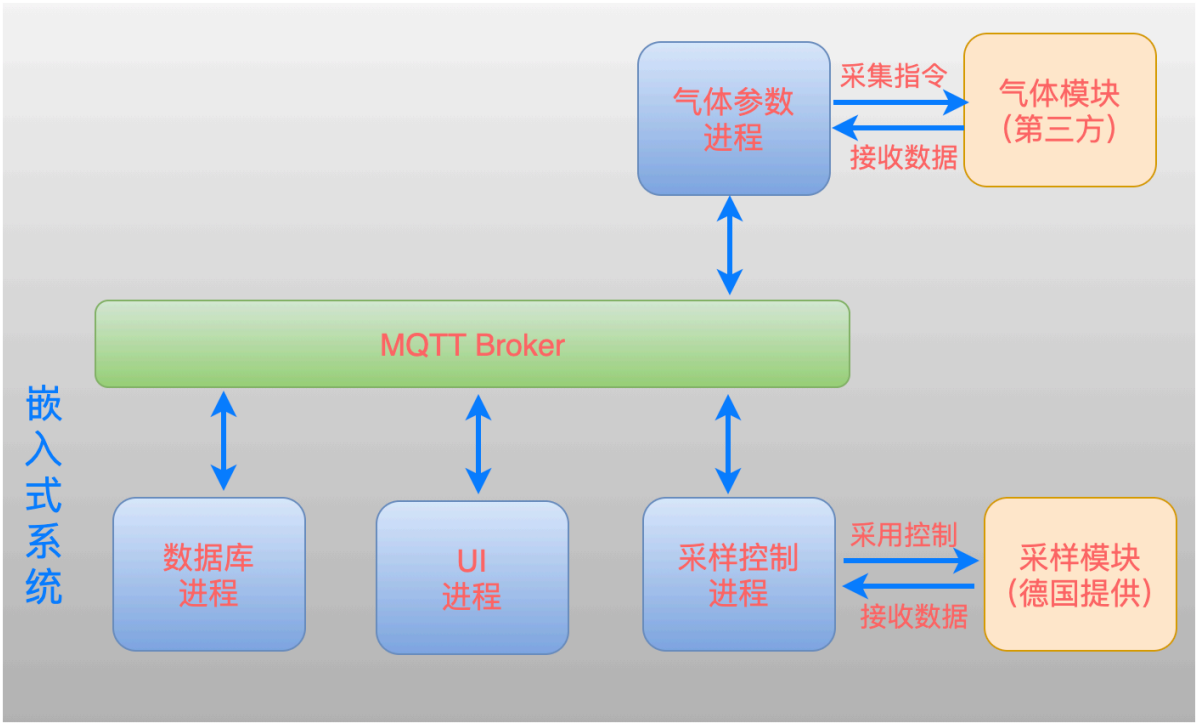
这个通信模型还有另外一个有点：可扩展性。

在项目开发的后期，甲方说需要集成一个第三方的气体模块，用来采集大气中NO、SO2等参数，通信方式是 RS485。

此时扩展这个功能模块就异常简单了，直接写一个独立的气体参数进程，接入到消息总线上。这个进程通过 RS485，从第三方气体模块接收到NO、SO2等气体参数时，直接往消息总线上的某个 topic 一丢，UI进程、数据库进程订阅这个 topic，就可以立刻接收到气体相关的数据了。

此外，这个设计模型还有其他一些优点：

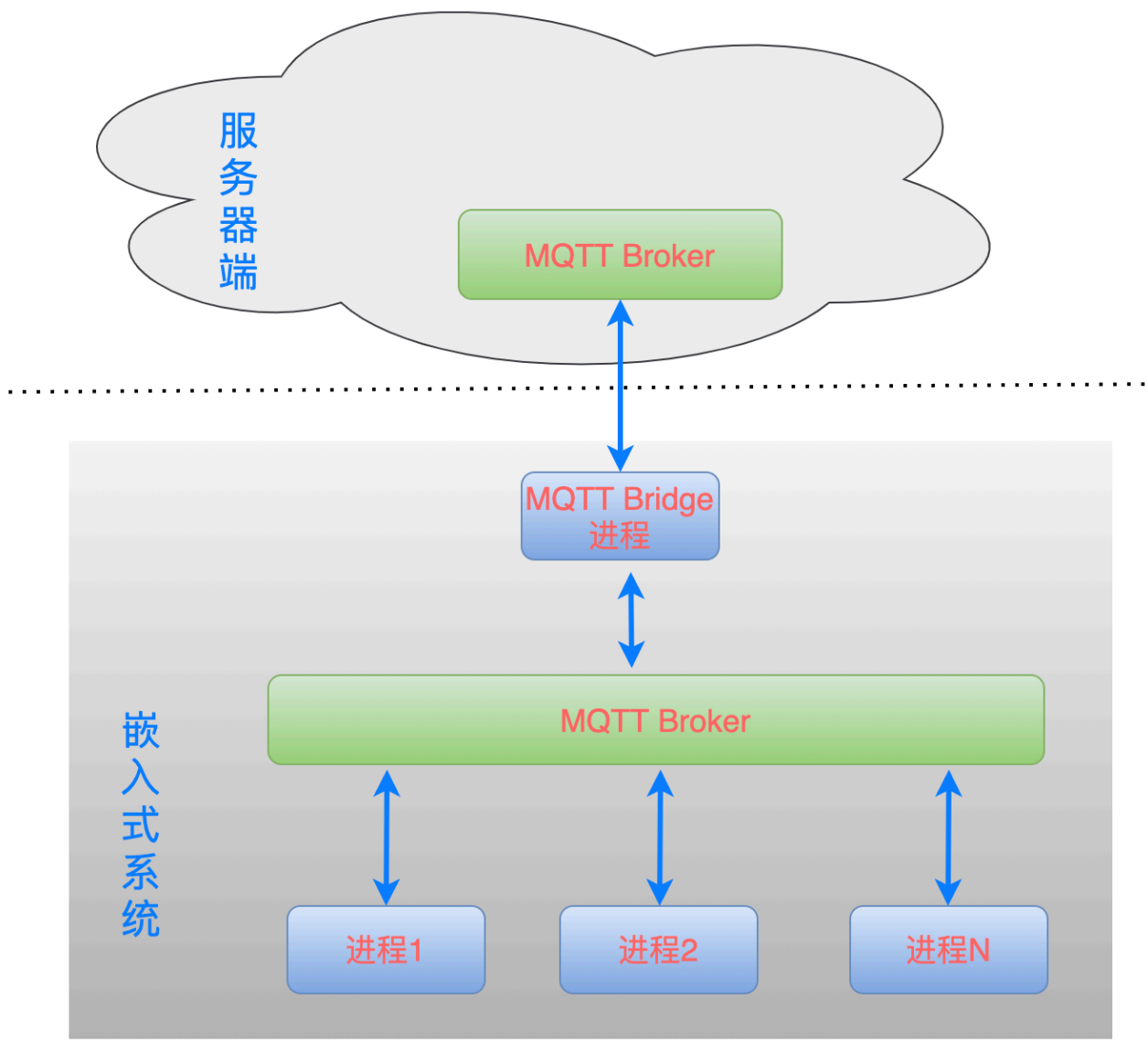
> 1. 并行开发：每个进程可以由不同的人员并行开发，只要相互之间定义好通信协议即可；
> 2. 调试方便：由于发送的数据都是 manual readable，在开发阶段，可以在 PC 机上专门写一个监控程序，接入到嵌入式系统中的 MQTT Broker 之后，这样就可以接收到所有进程发出的消息；
> 3. 通信安全：在产品 release 之后，为了防止其他人偷听数据(比如 2 中的调试进程)，可以为 MQTT Broker 指定一个配置文件，只能允许本地进程(127.0.0.1)连接到消息总线上。



2. 稍微复杂一点的通信模型

在刚才描述的嵌入式系框架设计中，每一个进程都是运行在本地的，所有的消息也都是在系统内进行收发。那么，如果需要把数据传输到云端、或者需要从云端接收一些控制指令，又该如何设计呢?

加入一个 MQTT Bridge 桥接模块即可！也就是再增加一个进程，这个进程同时连接到云端的 MQTT Broker 和本地的 MQTT Broker，通信模型如下：



1. MQTT Bridge 接收到云端发来的指令时，转发到本地的消息总线上；
2. MQTT Bridge 接收到本地的消息时，转发到云端的消息总线上。

五、Mosquitto: 一个简单的测试代码

上面的内容主要讨论的是设计的思想，具体到代码层面，我一般使用的是 Mosquitto 这个开源的实现。

在 Linux 系统中安装、测试都非常方便，下面就简单说明一下。

1. 直接通过 apt 来安装、测试

可以参考这个文档(https://www.vultr.com/docs/how-to-install-mosquitto-mqtt-broker-server-on-ubuntu-16-04)来安装测试。

(1) 安装

```
sudo apt-add-repository ppa:mosquitto-dev/mosquitto-ppa
sudo apt-get update
sudo apt-get install mosquitto
sudo apt-get install mosquitto-clients
```

(2) 测试

mosquitto broker 在安装之后会自动启动，可以用 `netstat` 查看 1883 端口来确认一下。

接收端：连接到 broker 之后，订阅 "test" 这个 topic。

```
mosquitto_sub -t "test"
```

发送端：连接到 broker 之后，往 "test" 这个 topic 发送字符串 “hello”。

```
mosquitto_pub -m "hello" -t "test"
```

当发送端执行 mosquitto_pub 时，在接收端的终端窗口中，就可以接收到 “hello” 这个字符串。

2. 通过源码来手动编译、测试

通过 apt 来安装主要是用来简单的学习和测试，如果要在项目开发中使用 Mosquitto，肯定需要手动编译，得到头文件和库文件，然后复制到应用程序中使用。

(1) 手动编译、安装 Mosquitto

我的开发环境是：

1. 编译器：gcc (Ubuntu 5.4.0-6ubuntu1~16.04.12) 5.4.0 20160609
2. Mosquitto 版本： mosquitto-1.4.9

mosquitto-1.4.9 可以到官方网站下载，也可以从文末的网盘中下载，你也可以尝试更高的版本。

编译、安装指令：

```
make
make install prefix=$PWD/install
```

成功安装之后，可以在当前目录的 install 文件夹下看到输出文件：

1. bin：mqtt 客户端程序；
2. include：应用程序需要 include 的头文件；
3. lib：应用程序需要链接的库文件；
4. sbin：mqtt broker 服务程序。

在编译过程中，如果遇到一些诸如：ares.h、uuid.h 等依赖文件找不到的错误，只需要通过 apt 指令安装响应的开发包即可。

(2) 最简单的 mosquitto 客户端代码

在 mosquitto 源码中，提供了丰富的 Sample 示例。如果你不乐意去探索，可以直接下载文末的这个网盘中的 Demo 示例程序，这个程序连接到消息总线上之后，订阅 “topic_01” 这个主题。当然，你也可以修改代码去发送消息(调用：mosquitto_publish 这个函数)。

进入 c_mqtt 示例代码目录之后，可以看到已经包含了 bin、include 和 lib 目录，它们就是从上面（1）中安装目录 install 中复制过来的。

执行 `make` 指令之后，即可编译成功，得到可执行文件： mqtt_client。

测试过程如下：

Step1: 启动 MQTT Broker

在第 1 个终端窗口中，启动 sbin/mosquitto 这个 Broker 程序。如果你在上面测试中已经启动了一个 broker，需要先 kill 掉之前的那个 broker，因为它们默认都使用 1883 这个端口，无法共存。

Step2: 启动接收端程序 mqtt_client

在第 2 个终端窗口中，启动 `mqtt_client` 也就是我们的示例代码编译得到的可执行程序，它订阅的 topic 是 “topic_01”。

```
./mqtt_client 127.0.0.1 1883
```

> 参数 1: Broker 服务的 IP 地址，因为都是在本地系统中，所以是 127.0.0.1；
> 参数 2: 端口号，一般默认是1883。

Step3: 启动发送端程序 bin/mosquitto_pub

在第 3 个终端窗口中，启动 bin/mosquitto_pub，命令如下：

```
./mosquitto_pub -h 127.0.0.1 -p 1883 -m "hello123" -t "topic_01"
```

> 参数 -h：Broker 服务的 IP 地址，因为都是在本地系统中，所以是 127.0.0.1；
> 参数 -p：端口号 1883；
> 参数 -m：发送的消息内容；
> 参数 -t：发送的主题 topic。

此时，可以在第 2 个终端窗口（mqtt_client）中打印出接收到的消息。

六、总结

这篇文章主要介绍了嵌入式系统中的一个设计模式：通过消息总线来实现进程之间的通信，并介绍了 Mosquitto 这个开源实现。

在实际的项目中，还需要更加严格的权限控制，比如：在接入消息总线时提供用户名、密码、设备证书，客户端的名称必须满足指定的格式，订阅的 topic 必须符合一定的格式等等。

在下一篇文章中，我们继续讨论这个话题，给出一个更具体、更实用的 Demo 例程。

七、资源下载

1. mosquitto-1.4.9.tgz

链接:https://pan.baidu.com/s/1izQ3dAlGbHiHwDvKnOSfyg
密码:dozt

2. Mosquitto Demo 示例代码

链接:https://pan.baidu.com/s/1M-dU3xapNbKyk2w07MtDyw
密码:aup3

不吹嘘，不炒作，不浮夸，认真写好每一篇文章！

欢迎转发、分享给身边的技术朋友，道哥在此表示衷心的感谢！

转发的推荐语已经帮您想好了：

道哥总结的这篇总结文章，写得很用心，对我的技术提升很有帮助。好东西，要分享！

【原创声明】

> 作者：道哥(公众号: IOT物联网小镇)
> 知乎：道哥
> B站：道哥分享
> 掘金：道哥分享
> CSDN：道哥分享

关注+星标公众号，不错过最新文章

推荐阅读

C语言指针-从底层原理到花式技巧，用图文和代码帮你讲解透彻
一步步分析-如何用C实现面向对象编程
提高代码逼格的利器：宏定义-从入门到放弃
原来gdb的底层调试原理这么简单

利用C语言中的setjmp和longjmp，来实现异常捕获和协程
关于加密、证书的那些事
深入LUA脚本语言，让你彻底明白调试原理