

## 1. 预

### 1) 数据表示

二进制、整型（16 位，大段）、控制报文（UTF-8，长度[2 字节]+内容[最长 65535]）

### 2) 控制报文结构

#### 2.1) 固定报头 Fixed header

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1	MQTT控制报文的类型				用于指定控制报文类型的标志位			
byte 2...	剩余长度							

##### 2.1.1) 标志位

PUBLISH	Used in MQTT 3.1.1	DUP <sup>1</sup>	QoS <sup>2</sup>	QoS <sup>2</sup>	RETAIN <sup>3</sup>
---------	--------------------	------------------	------------------	------------------	---------------------

DUP<sup>1</sup> = 控制报文的重复分发标志

QoS<sup>2</sup> = PUBLISH 报文的服务质量等级

RETAIN<sup>3</sup> = PUBLISH 报文的保留标志

其他为 0

##### 2.1.2) 剩余长度

可变报头+负载的数据的长度（不包括本身）。【最大占 4 字节】

使用变长编码方案：每个字节的最高位标志（7 位）后面是否有更多的字节（若为 1，则有）。如下图所示：（p13 有相应的算法）

字节数	最小值	最大值
1	0 (0x00)	127 (0x7F)
2	128 (0x80, 0x01)	16 383 (0xFF, 0x7F)
3	16 384 (0x80, 0x80, 0x01)	2 097 151 (0xFF, 0xFF, 0x7F)
4	2 097 152 (0x80, 0x80, 0x80, 0x01)	268 435 455 (0xFF, 0xFF, 0xFF, 0x7F)

分别表示（每个字节的低7位用于编码数据，最高位是标志位）：

- 1个字节时，从0(0x00)到127(0x7f)
- 2个字节时，从128(0x80,0x01)到16383(0xFF,0x7f)
- 3个字节时，从16384(0x80,0x80,0x01)到2097151(0xFF,0xFF,0x7F)
- 4个字节时，从2097152(0x80,0x80,0x80,0x01)到268435455(0xFF,0xFF,0xFF,0x7F)

#### 2.2) 可变报文 Variable header

作用：

A) 报文标识符（2 字节，序号）【注】客户端、服务端彼此独立地分配报文标识符。

控制报文	报文标识符字段
CONNECT	不需要
CONNACK	不需要
PUBLISH	需要（如果QoS > 0）
PUBACK	需要
PUBREC	需要
PUBREL	需要
PUBCOMP	需要
SUBSCRIBE	需要
SUBACK	需要
UNSUBSCRIBE	需要
UNSUBACK	需要
PINGREQ	不需要
PINGRESP	不需要
DISCONNECT	不需要

B) 其他

#### 2.3) 有效载荷 Payload

控制报文	有效载荷
CONNECT	需要
CONNACK	不需要
PUBLISH	可选
PUBACK	不需要
PUBREC	不需要
PUBREL	不需要
PUBCOMP	不需要
SUBSCRIBE	需要
SUBACK	需要
UNSUBSCRIBE	需要
UNSUBACK	不需要
PINGREQ	不需要
PINGRESP	不需要
DISCONNECT	不需要

### 3) 报文控制类型

名字	值	报文流动方向	描述
Reserved	0	禁止	保留
CONNECT	1	客户端到服务端	客户端请求连接服务端
CONNACK	2	服务端到客户端	连接报文确认
PUBLISH	3	两个方向都允许	发布消息
PUBACK	4	两个方向都允许	QoS 1 消息发布收到确认
PUBREC	5	两个方向都允许	发布收到（保证交付第一步）
PUBREL	6	两个方向都允许	发布释放（保证交付第二步）
PUBCOMP	7	两个方向都允许	QoS 2 消息发布完成（保证交互第三步）
SUBSCRIBE	8	客户端到服务端	客户端订阅请求
SUBACK	9	服务端到客户端	订阅请求报文确认
UNSUBSCRIBE	10	客户端到服务端	客户端取消订阅请求
UNSUBACK	11	服务端到客户端	取消订阅报文确认
PINGREQ	12	客户端到服务端	心跳请求
PINGRESP	13	服务端到客户端	心跳响应
DISCONNECT	14	客户端到服务端	客户端断开连接
Reserved	15	禁止	保留

### 4) CONNECT-连接服务端

#### 4.1) 可变报头（共 10 字节）

##### 4.1.1) 清理会话

有效为 0，即保留会话状态。

清理会话标志设置为 0 的客户端会收到所有在它连接断开期间发布的 QoS 1 和 QoS 2 级别的消息。因此，要确保不丢失连接断开期间的消息，需要使用 QoS 1 或 QoS 2 级别，同时将清理会话标志设置为 0

会话状态有哪些（p21）

##### 4.1.2) 遗嘱

有效为 1，即一定条件下发送遗嘱。遗嘱是由服务端发送，显然遗嘱有 topic&message、qos。遗嘱保留标志（置为 1 时，服务器必须将遗嘱消息当做保留消息发布）

详细描述（p23）

##### 4.1.3) 用户名&密码

有效值为 1

4.1.4) 保持连接 KeepAlive

有效值为 16 位的时间间隔。两者之间允许空闲的最大时间间隔。**客户端负责**保证控制报文发送的时间间隔不超过保持连接的值。如果没有任何其它的控制报文可以发送，客户端必须发送一个 PINGREQ 报文。

若其值非 0，并且服务端在 **1.5 倍**时间未收到相应报文，则可认为连接已经断开。  
任何情况下，服务端可以随时认为客户端已断开网络。

4.1.5) 综合

	Description	7	6	5	4	3	2	1	0
Protocol Name									
byte 1	Length MSB (0)	0	0	0	0	0	0	0	0
byte 2	Length LSB (4)	0	0	0	0	0	1	0	0
byte 3	'M'	0	1	0	0	1	1	0	1
byte 4	'Q'	0	1	0	1	0	0	0	1
byte 5	'T'	0	1	0	1	0	1	0	0
byte 6	'T'	0	1	0	1	0	1	0	0
Protocol Level									
	Description	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 7	Level (4)	0	0	0	0	0	1	0	0
Connect Flags									
byte 8	User Name Flag (1)								
	Password Flag (1)								
	Will Retain (0)								
	Will QoS (01)	1	1	0	0	1	1	1	0
	Will Flag (1)								
	Clean Session (1)								
	Reserved (0)								
Keep Alive									
byte 9	Keep Alive MSB (0)	0	0	0	0	0	0	0	0
byte 10	Keep Alive LSB (10)	0	0	0	0	1	0	1	0

4.2) 有效载荷（包含一个或多个以长度为前缀的字段） —> 顺序为：客户端标识符，遗嘱主题，遗嘱消息，用户名，密码

4.2.1) 客户端标识符

服务端必须允许 1 到 23 个字节长的 **UTF-8 编码**的客户端标识符，客户端标识符只能包含这些字符：“0123456789abcdefghijklmnopqrstuvwxyzABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ”（大写字母，小写字母和数字）

4.3) 服务端响应 Connect 过程（P27）

5) CONNACK

5.1) 固定报头

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1	MQTT报文类型 (2)				Reserved 保留位			
	0	0	1	0	0	0	0	0
byte 2...	剩余长度 (2)							
	0	0	0	0	0	0	1	0

5.2) 可变报头

	描述	7	6	5	4	3	2	1	0
连接确认标志		Reserved 保留位							SP <sup>1</sup>
byte 1		0	0	0	0	0	0	0	X
连接返回码									
byte 2		X	X	X	X	X	X	X	X

Sp (session present): 只有在服务端已经保存了会话状态，才置为 1。（其他详见 p30）  
错误返回码：

值	返回码响应	描述
0	0x00连接已接受	连接已被服务端接受
1	0x01连接已拒绝，不支持的协议版本	服务端不支持客户端请求的MQTT协议级别
2	0x02连接已拒绝，不合格的客户标识符	客户端标识符是正确的UTF-8编码，但服务端不允许使用
3	0x03连接已拒绝，服务端不可用	网络连接已建立，但MQTT服务不可用
4	0x04连接已拒绝，无效的用户名或密码	用户名或密码的数据格式无效
5	0x05连接已拒绝，未授权	客户端未被授权连接到此服务器
6-255		保留

## 6) PUBLISH

PUBLISH 控制报文是指从客户端向服务端或者服务端向客户端传输一个应用消息。

### 6.1) 固定报头

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1	MQTT控制报文类型 (3)				DUP	QoS-H	QoS-	RETAIN
	0	0	1	1	X	X	X	X
byte 2...	剩余长度							

DUP: 重发标志，不传播。它关注的是本文的本身是否是重发的。

RETAIN: 保留标志。

**1 个 Topic 只有唯一的 retain 消息, Broker 会保存每个 Topic 的最后一条 retain 消息。**

通过保留标志设为 1、有效载荷为 0，可删除之前的保留消息。

服务端->客户端的 publish 中，retain 表明此 topic 是之前保留的还是刚刚接受到的。

### 6.2) 可变报头（主题名+报文标识符）

	描述	7	6	5	4	3	2	1	0
Topic Name 主题名									
byte 1	Length MSB (0)	0	0	0	0	0	0	0	0
byte 2	Length LSB (3)	0	0	0	0	0	0	1	1
byte 3	'a' (0x61)	0	1	1	0	0	0	0	1
byte 4	'/' (0x2F)	0	0	1	0	1	1	1	1
byte 5	'b' (0x62)	0	1	1	0	0	0	1	0
报文标识符									
byte 6	报文标识符 MSB (0)	0	0	0	0	0	0	0	0
byte 7	报文标识符 LSB (10)	0	0	0	0	1	0	1	0

示例中的主题名为 “a/b”，长度等于 3，报文标识符为 “10”

### 6.3) 有效载荷

**数据的内容和格式是应用特定的。**

有效载荷的长度这样计算：用固定报头中的剩余长度字段的值减去可变报头的长度。

### 6.4) Note

客户端使用带通配符的主题过滤器请求订阅时，客户端的订阅可能会重复，因此发布的消息可能会匹配多个过滤器。对于这种情况，**服务端必须将消息分发给所有订阅匹配的 QoS 等级最高的客户端** [MQTT-3.3.5-1]。服务端之后可以按照订阅的 QoS 等级，分发消息的副本给每一个匹配的订阅者。

## 7) PUBACK (Qos1)

### 7.1) 固定报头

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1	MQTT报文类型 (4)				保留位			
	0	1	0	0	0	0	0	0
byte 2...	剩余长度							
	0	0	0	0	0	0	1	0

## 7.2) 可变报头

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1	报文标识符 MSB							
byte 2	报文标识符 LSB							

8) PUBREC (qos2, 1)、PUBREL (qos2,2)、PUBCOMP (qos2,3) 同上

9) SUBSCRIBE

## 9.1) 固定报头

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1	MQTT控制报文类型 (8)				保留位			
	1	0	0	0	0	0	0	0
byte 2	剩余长度							

保留位必须为：0010，否则服务端将关闭连接。

## 9.2) 可变报头 (2 字节, 报文标识符)

## 9.3) 有效载荷

Qos: 它给出了服务端向客户端发送应用消息所允许的最大 QoS 等级。

描述	7	6	5	4	3	2	1	0
主题过滤器								
byte 1	长度 MSB							
byte 2	长度 LSB							
byte 3..N	主题过滤器（Topic Filter）							
服务质量要求（Requested QoS）								
	保留位						服务质量等级	
byte N+1	0	0	0	0	0	0	X	X

注：主题过滤器 (不包含 qos) 整个使用 utf-8 编码 (2+内容)

	描述	7	6	5	4	3	2	1	0
主题过滤器 (Topic Filter)									
byte 1	Length MSB (0)	0	0	0	0	0	0	0	0
byte 2	Length LSB (3)	0	0	0	0	0	0	1	1
byte 3	'a' (0x61)	0	1	1	0	0	0	0	1
byte 4	'/' (0x2F)	0	0	1	0	1	1	1	1
byte 5	'b' (0x62)	0	1	1	0	0	0	1	0
服务质量要求 (Requested QoS)									
byte 6	Requested QoS(1)	0	0	0	0	0	0	0	1
主题过滤器 (Topic Filter)									
byte 7	Length MSB (0)	0	0	0	0	0	0	0	0
byte 8	Length LSB (3)	0	0	0	0	0	0	1	1
byte 9	'c' (0x63)	0	1	1	0	0	0	1	1
byte 10	'/' (0x2F)	0	0	1	0	1	1	1	1
byte 11	'd' (0x64)	0	1	1	0	0	1	0	0
服务质量要求 (Requested QoS)									
byte 12	Requested QoS(2)	0	0	0	0	0	0	1	0

#### 9.4) 响应 (p49)

如果服务端收到一个 SUBSCRIBE 报文，报文的主题过滤器与一个现存订阅的主题过滤器相同，那么必须使用新的订阅彻底替换现存的订阅。新订阅的主题过滤器和之前订阅的相同，但是它的最大 QoS 值可以不同。与这个主题过滤器匹配的任何现存的保留消息必须被重发，但是发布流程不能中断。

为响应订阅而发出的消息的有效载荷的 QoS 必须是原始发布消息的 QoS 和服务端授予的 QoS 两者中的最小值。

#### 10) SUBACK

##### 10.1) 固定报头

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1	MQTT控制报文类型 (9)				保留位			
	1	0	0	1	0	0	0	0
byte 2	剩余长度							

##### 10.2) 可变报头 (对应的报文标识符)

##### 10.3) 有效载荷

包含多个返回码 (每个返回码对应一个订阅请求，顺序必须与 subscribe 报文同)

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	返回码							
byte 1	X	0	0	0	0	0	X	X

允许的返回码值：

- 0x00 - 最大QoS 0
- 0x01 - 成功 - 最大QoS 1
- 0x02 - 成功 - 最大QoS 2
- 0x80 - Failure 失败

#### 11) UNSUBSCRIBE

##### 11.1) 固定报头

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1	MQTT控制报文类型 (10)				保留位			
	1	0	1	0	0	0	1	0
byte 2	剩余长度							

保留位必须为：0010

##### 11.2) 可变报头 (报文标识符)

##### 11.3) 有效载荷

	描述	7	6	5	4	3	2	1	0
主题过滤器									
byte 1	Length MSB (0)	0	0	0	0	0	0	0	0
byte 2	Length LSB (3)	0	0	0	0	0	0	1	1
byte 3	'a' (0x61)	0	1	1	0	0	0	0	1
byte 4	'/' (0x2F)	0	0	1	0	1	1	1	1
byte 5	'b' (0x62)	0	1	1	0	0	0	1	0
主题过滤器									
byte 6	Length MSB (0)	0	0	0	0	0	0	0	0
byte 7	Length LSB (3)	0	0	0	0	0	0	1	1
byte 8	'c' (0x63)	0	1	1	0	0	0	1	1
byte 9	'/' (0x2F)	0	0	1	0	1	1	1	1
byte 10	'd' (0x64)	0	1	1	0	0	1	0	0

##### 11.4) 响应 (服务端, p56)

#### 12) UNSUBACK

##### 12.1) 固定报头

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1	MQTT控制报文类型 (11)				保留位			
	1	0	1	1	0	0	0	0
byte 2	剩余长度 (2)							
	0	0	0	0	0	0	1	0

### 12.2) 可变报头

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1	报文标识符 MSB							
byte 2	报文标识符 LSB							

### 13) PINGREQ、PINGRESP

用于心跳。它们只有固定报头。

### 14) DISCONNECT

客户端发送给服务端的最后一个控制报文。

只有固定报头。

服务端接收到该报文的一些响应 (P64)。

### 15) 服务质量等级和协议流程 QoS ★★★

#### 15.1) qos0

发送者动作	控制报文	接收者动作
PUBLISH 报文 QoS 0, DUP=0		
	----->	
		分发应用消息给适当的后续接收者 (们)

#### 15.2) qos1 (p69)

发送者动作	控制报文	接收者动作
存储消息		
发送PUBLISH报文 QoS=1, DUP=0, 带报文标识符	----- ->	
		开始应用消息的后续分发 <sup>1</sup>
	<----- --	发送PUBACK报文, 带报文标识符
丢弃消息		

<sup>1</sup> 不要求接收者在发送PUBACK之前完整分发应用消息。原来的发送者收到PUBACK报文之后, 应用消息的所有权就会转移给这个接收者。

#### 15.3) qos2

发送者动作	控制报文	接收者动作
存储消息		
发送PUBLISH报文，QoS=2，DUP=0，带报文标识符		
	----	
	----	
	-->	
		方法A：存储消息，或方法B：存储报文标识符，然后开始向前分发这个应用消息 <sup>1</sup> 。
		发送PUBREC报文，带报文标识符。
	<---	
	----	
	----	
丢弃消息，存储PUBREC中的报文标识符		
发送PUBREL报文，带报文标识符		
	----	
	----	
	-->	
		方法A：开始向前分发应用消息 <sup>1</sup> 然后丢弃消息 或方法B：丢弃报文标识符
		发送PUBCOMP报文，带报文标识符
	<---	
	----	
	----	
丢弃已保存的状态		

<sup>1</sup> 不要求接收者在发送PUBREC或PUBCOMP之前完整分发应用消息。原来的发送者收到PUBREC报文之后，应用消息的所有权就会转移给这个接收者。

图例 4.3 – QoS 2 协议流程图，非规范示例 展示了接收者对QoS 2等级消息的两种处理方法。他们的区别是消息什么时候可以开始分发。实现者可以决定使用哪种方法。只要实现者只选择了一种方法，就不会影响QoS流程的可靠性。

#### 16) 消息重新分发

客户端设置清理会话（CleanSession）标志为0重连时，客户端和服务端必须使用原始的报文标识符重发任何未确认的 PUBLISH 报文（如果 QoS>0）和 PUBREL 报文 [MQTT-4.4.0-1]。这是唯一要求客户端或服务端重发消息的情况。

#### 17) 消息收到

客户端必须按照可用的服务质量（QoS）规则确认它收到的任何 PUBLISH 报文，不管它选择是否处理报文包含的应用消息。（例如，服务端会自动给客户端分配一个订阅）

#### 18) 消息排序（p72）

对于 QoS1 的消息流，虽然订阅者会按照消息发布时的顺序收到每天消息的最终版本，但是由于消息可能会重复。所以导致 1,2,3,2,3,4 的出现。

如果客户端和服务端能保证任何时刻最多有一条消息在传输中（in-flight），则订阅者虽然会收到重复的，但只可能为 1,2,3,3,4 类似的顺序。（这也意味着滑动窗口为1）

#### 19) 主题名和主题过滤器（p73）



/ :: 主题层级分隔符

多层通配符 :: # 它的父级和任意数量的子层级

- “sport/#”也匹配单独的“sport”，因为#包括它的父级。
- “#”是有效的，会收到所有的应用消息。
- “sport/tennis/#”也是有效的。
- “sport/tennis#”是无效的。
- “sport/tennis/#/ranking”是无效的。

单层通配符 :: + 只能用于单个主题层级匹配的通配符

非规范评注

例如，“sport/tennis/+”匹配“sport/tennis/player1”和“sport/tennis/player2”，但是不匹配“sport/tennis/player1/ranking”。同时，由于单层通配符只能匹配一个层级，“sport/+”不匹配“sport”但是却匹配“sport/”。

非规范评注

- “+”是有效的。
- “+/tennis/#”是有效的。
- “sport+”是无效的。
- “sport/+/player1”也是有效的。
- “/finance”匹配“+/+”和“/+”，但是不匹配“+”。

### 4.7.3 主题语义和用法 Topic semantic and usage

主题名和主题过滤器必须符合下列规则：

- 所有的主题名和主题过滤器必须至少包含一个字符 [MQTT-4.7.3-1]。
- 主题名和主题过滤器是区分大小写的。
- 主题名和主题过滤器可以包含空格。
- 主题名或主题过滤器以前置或后置斜杠“/”区分。
- 只包含斜杠“/”的主题名或主题过滤器是合法的。
- 主题名和主题过滤器不能包含空字符 (Unicode U+0000) [Unicode] [MQTT-4.7.3-2]。
- 主题名和主题过滤器是UTF-8编码字符串，它们不能超过65535字节 [MQTT-4.7.3-3]。见1.5.3节。

除了不能超过UTF-编码字符串的长度限制之外，主题名或主题过滤器的层级数量没有其它限制。

匹配订阅时，服务端不能对主题名或主题过滤器执行任何规范化（normalization）处理，不能修改或替换任何未识别的字符 [MQTT-4.7.3-4]。主题过滤器中的每个非通配符层级需要逐字符匹配主题名中对应的层级才算匹配成功。

非规范评注

使用UTF-8编码规则意味着，主题过滤器和主题名的比较可以通过比较编码后的UTF-8字节或解码后的Unicode字符。

非规范评注

- “ACCOUNTS”和“Accounts”是不同的主题名。
- “Accounts payable”是合法的主题名
- “/finance”和“finance”是不同的。