版本：V2.1

杭州暖芯迦电子科技有限公司

PWM2001 PPG 光电多参数人体健康检测模块用户手册

批准日期:2019 年　3 月　28 日　　实施日期:2019 年 3 月 28 日

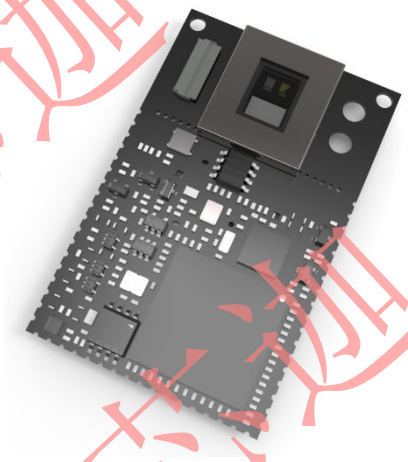
目录

1 概述

PWM2001 光电模块是一款可以测量心率、呼吸率等多种人体参数的模块，可以通过有线（UART）或无线（BLE4.0）连接的方式从模组读取测量数据。

模组可另提供移动端 SDK 开发包，当采用 BLE4.0 连接时，方便进行移动应用端软件的开发。

模组单面贴装元器件，边角采用邮票孔连接的方式，方便贴装。



2 特点

外形尺寸： 55mm X 35mm X 3.8mm

输入电压： DC5V(接 17 脚)或者 4.2V 锂电池（接 20 脚）

输入电流： 500mA

可测量参数：心率、心律不齐、心率变异性、呼吸率、动脉硬化指数、焦虑指数、脉象、血流速度，血压。

测量范围和精度：

血压(BP)范围：30~200mmHg，精度：在个体校准后，均差为±5mmHg

血压饱和度(SPO2)：范围 85%~100%，精度：在正常供血情况下，误差为±2%（医疗级，可选配）

心率（HR）：安静状态下，成人正常心率为 60～100 次/分钟，理想心率应为 55～

70 次/分钟，误差±5

脉象(PT)：复合脉象（由滑脉、平脉、弦脉、数脉、迟脉、缓脉、促脉、结脉、止脉这 9 种脉象中的两种组合而成）

呼吸率（RR）：范围 6~60 次/分，精度正常呼吸状态下，误差为±2

血流速度：范围 0.6~9.9m/S，误差±0.2m/S

动脉硬化指数(SIS)：范围 1.0~9.9

焦虑指数(SNA)：范围 0.1~9.9

心率变异性：支持短程心率变异性分析

模组通讯方式： 有线 UART；无线蓝牙 BLE4.0。

充电功能： 模组自带充电管理接口，可外接可充电锂电池。

3 应用范围

家庭医疗管理、健康智能硬件、健康管理平台。

4 电气特性

环境要求：

工作环境温度	0℃~50℃
工作环境湿度	20%~80%
存储环境温度	-20℃~60℃
存储环境湿度	10%~80%

串口波特率：57600

串口设置：N 8 1

流控：无

数据格式：二进制

符号	参数	测试条件	最小	典型	最大	单位
VBAT	工作电压	—	3.7	4.2	5.5	V
IDD	工作电流	输出引脚无负载	—	—	130	mA
VIL	TX 引脚低电平输入电压		—	—	0.8	V
VIH	TX 引脚高电平输入电压	—	2.8	—	—	V
VOL	RX 引脚低电平输出电压	IOL=TBD	—	—	0.4	V
VOH	RX 引脚高电平输出电压	IOL=TBD	2.9	—	—	V
IOL	RX 口灌电流	—	8	TBD	TBD	mA
tSST	系统启动时间	—	500	—	—	mS
RRVDD	VDD 上升速率	—	TBD	—	—	V/ms
BRPON	上电波特率	—	—	57600	—	Hz

BLE接收器特性

参数	条件	最小	典型	最大	单位
灵敏度@0.1% BER	—	—	-98	—	dBm
最大接收信号@0.1% BER	—	0	—	—	dBm
共信道C/I	—	—	10	—	dB
邻道选择性C/I	F = F0 + 1 MHz	—	-5	—	dB
	F = F0 - 1 MHz	—	-5	—	dB
	F = F0 + 2 MHz	—	-25	—	dB
	F = F0 - 2 MHz	—	-35	—	dB
	F = F0 + 3 MHz	—	-25	—	dB
	F = F0 - 3 MHz	—	-45	—	dB
抗带外阻塞性能	30 MHz - 2000 MHz	-10	—	—	dBm
	2000MHz - 2400MHz	-27	—	—	dBm
	2500MHz - 3000MHz	-27	—	—	dBm
	3000MHz - 12.5GHz	-10	—	—	dBm
互调性能	—	-36	—	—	dBm

BLE发射器特性

参数	条件	最小	典型	最大	单位
射频发射功率	—	—	7.5	10	dBm
射频功率控制范围	—	—	25	—	dB
邻道发射功率	F = F0 + 1 MHz	—	-14.6	—	dBm
	F = F0 - 1 MHz	—	-12.7	—	dBm
	F = F0 + 2 MHz	—	-44.3	—	dBm
	F = F0 - 2 MHz	—	-38.7	—	dBm
	F = F0 + 3 MHz	—	-29.2	—	dBm
	F = F0 - 3 MHz	—	-45	—	dBm
	F = F0 +> 3 MHz	—	-50	—	dBm
	F = F0 -> 3 MHz	—	-50	—	dBm
Δ f1avg	—	—	—	265	kHz
Δ f2max	—	247	—	—	dBm
Δ f2avg/Δ f1avg	—	—	-0.92	—	dBm
ICFT	—	—	-10	—	kHz
频率漂移率	—	—	0.7	—	kHz/50μs
频率漂移	—	—	2	—	kHz

5 串口协议帧定义

本协议中，如无特别说明，所有数值均表示十六进制格式。

协议帧的格式如下：

MSB **LSB**

帧头	数据包
8 bytes	0-512 bytes

5.1 帧头

MSB **LSB**

引导字	协议版本	长度(1)	命令字节	序列号(2)
1 bytes	1 bytes	2 bytes	2 bytes	2 bytes
0xFE	0x01	长度	命令号	序列号

注(1)：长度为整个协议帧的所有数据字节长度；

注(2)：序列号为发送的数据帧序号，从 0x0000 开始，每发新的一帧，编号加 1，发送和接收的数据帧分开编号。

5.2 数据包

数据包由不同类型的数据帧构成，有三种类型的数据帧，定义如下：

类型字节	长度字节	数据字节
0A	不定	由长度位决定
12	1 bytes	由长度位决定
18	不定	由长度位决定

主机与从机的通信数据，在类型为 12 的数据包中传输，该包中的数据字节定义如下：

MSB LSB

数据头字节	关键数据
2 bytes	0-510 bytes

类型 0A 和 18 的数据帧可以发 0A 00 和 18 00，或者不发。

5.2.1 数据头字节

数据头字节由命令字和关键字构成：

MSB LSB

命令字	关键字
1 bytes	1 bytes

不同的命令字有不同的定义，同一命令字下不同的关键字实现不同的功能，详见下节定义。

5.2.2 关键数据

详见下节定义。

6 串口命令定义

6.1 主机发送指令

6.1.1 启动一次血压测量命令

帧内定义		值	说明
帧头	引导值（1 Bytes）	FE	
	版本号（1 Bytes）	01	
	长度（2 Bytes）	00 11	
	命令号（2 Bytes）	75 31	
	序列号（2 Bytes）	XX XX	当前帧的序号
数据包	类型字节（1 Bytes）	**0A**	
	长度字节	00	
	类型字节（1 Bytes）	12	
	长度字节（1 Bytes）	03	
	数据字节	08 01 01	启动血压测量
	类型字节（1 Bytes）	**18**	
	长度字节	00	

6.1.2 停止一次血压测量命令

帧内定义		值	说明
帧头	引导值（1 Bytes）	FE	
	版本号（1 Bytes）	01	
	长度（2 Bytes）	00 10	
	命令号（2 Bytes）	75 31	
	序列号（2 Bytes）	XX XX	当前帧的序号
数据包	类型字节（1 Bytes）	**0A**	
	长度字节	00	
	类型字节（1 Bytes）	**12**	
	长度字节（1 Bytes）	02	
	数据字节	08 02	停止血压测量
	类型字节（1 Bytes）	**18**	
	长度字节	00	

6.1.3 设置密钥参数命令

用户使用本模块时，必须按照本协议命令发送密钥参数，以确保用户数据的安全性。

帧内定义		值	说明
帧头	引导值（1 Bytes）	FE	
	版本号（1 Bytes）	01	
	长度（2 Bytes）	00 20	
	命令号（2 Bytes）	75 31	
	序列号（2 Bytes）	XX XX	当前帧的序号
数据包	类型字节（1 Bytes）	0A	
	长度字节（1 Bytes）	00	
	类型字节（1 Bytes）	12	
	长度字节（1 Bytes）	12	
	数据字节（18 Bytes）	03 07 X1 ---X16	X1 ---X16 为用户密钥
	类型字节（1 Bytes）	18	
	长度字节（1 Bytes）	00	

6.2 从机返回数据格式

6.2.1 从机启动血压测试返回格式

主机发送开始测试指令后，设备会发送该数据帧进行应答。

帧内定义			值	说明
帧头	引导值（1 Bytes）		FE	
	版本号（1 Bytes）		01	
	长度（2 Bytes）		00 1E	
	命令号（2 Bytes）		27 12	
	序列号（2 Bytes）		XX XX	当前帧的序号
数据包	类型字节（1 Bytes）		**0A**	
	长度字节		00	
	类型字节（1 Bytes）		**12**	
	长度字节（1 Bytes）		12	
	数据字节	数据内容 1（2 Bytes）	08 01	
		数据内容 2（16 Bytes）	00 00 …… 00 00	

6.2.2 从机波形数据返回格式

帧内定义			值	说明
帧头	引导值（1 Bytes）		FE	
	版本号（1 Bytes）		01	
	长度（2 Bytes）		00 2E	
	命令号（2 Bytes）		27 12	
	序列号（2 Bytes）		XX XX	当前帧的序号
数据包	类型字节（1 Bytes）		**0A**	
	长度字节（1 Bytes）		00	
	类型字节（1 Bytes）		**12**	
	长度字节（1 Bytes）		22	
	数据字节	数据类型（2 Bytes）	05 09	表示该数据为波形数据
		数据内容 1（32 Bytes）	XX XX …… XX XX	详见举例

举例：

FE 01 00 2E 27 12 00 16 **0A** 00 **12** 22 05 09 71 00 70 40 6F 00 6E C0 6E C0 71 C0 71 00 74 00 95 00 BB 00 B6 40 97 00 82 00 78 40 70 40 6D 40

解释：

05 09 表示波形数据返回，后面为波形数据，波形数据用 16 进制表示，共 32 字节，每 2 个连续的字节（例如：71 00）为一个波形数据，血压波形数据共 10bit，高 8bit 在前，低 8bit 在后，在低 8bit 中高 2bit 有效。

例如 70 40 这 2 个字节的数据，可以按照如下格式转换为波形数据：(0x70 << 2) + (0x40 >> 6)。

6.2.3 从机血压数据测试成功返回格式

帧内定义			值	说明
帧头	引导值（1 Bytes）		FE	
	版本号（1 Bytes）		01	
	长度（2 Bytes）		00 2E	
	命令号（2 Bytes）		27 12	
	序列号（2 Bytes）		XX XX	当前帧的序号
数据包	类型字节（1 Bytes）		**0A**	
	长度字节（1 Bytes）		00	
	类型字节（1 Bytes）		**12**	
	长度字节（1 Bytes）		22	
	数	数据类型（2 Bytes）	05 03	表示该数据为测试结果

	据字节	数据内容 1（12 Bytes）	XX XX …… XX XX	
		数据内容 2（1 Bytes）	XX	SIS 动脉硬化指数(需除以 10 取小数)
		数据内容 3（1 Bytes）	XX	SNA 焦虑指数（需除以 10 取小数）
		数据内容 4（1 Bytes）	XX	BSPD 血流速度（需除以 10 取小数）
		数据内容 5（1 Bytes）	XX	
		数据内容 6（1 Bytes）	XX	
		数据内容 7（1 Bytes）	XX	HRV 心率变异性
		数据内容 8（1 Bytes）	XX	ARR 心律不齐
		数据内容 9（4 Bytes）	XX XX …… XX XX	
		数据内容 10（1 Bytes）	XX	RR 呼吸率
		数据内容 11（1 Bytes）	XX	SYS 高压
		数据内容 12（1 Bytes）	XX	DIA 低压
		数据内容 13（1 Bytes）	XX	HR 心率
		数据内容 14（1 Bytes）	XX	PT 脉象
		数据内容 15（1 Bytes）	XX	SpO2 血氧饱和度
		数据内容 16（3 Bytes）	XX XX	

举例：

FE 01 00 2E 27 12 00 80 0A 00 12 22 05 03 00 42 00 79 00 00 00 00 00 00 00 00 19 26 59 00 00 25 02 00 00 00 00 0E A6 68 46 61 63 00 00 00

解释：

关键数据长度为 34 个字节，05 03 表示测试结果，其后为测试结果数据，测试结果数据用 16 进制表示，共 32 字节，其中 19 26 59 为动脉硬化指数、焦虑指数、血流速度（均需除以 10 取小数）；25 为 HRV（心率变异性）；0E A6 68 46 61 63 为呼吸率、高压值、低压值、心率、脉象、血氧血氧饱和度， 其余位置数据为保留值（具体数值可能有变化）。心律不齐字节位置 01 为无心律不齐，02 有心律不齐。

关于脉象的解析如下脉象字节各位组合：如脉象字节为 0x23，则脉象为滑缓脉象。

Bit3-0:=0 无脉象=1 平脉=2 弦脉=3 滑脉 Bit7-4: =1 迟脉=2 缓脉=3 数脉=4 结脉 =5 止脉=6 促脉

6.2.4 从机血压数据测试错误返回格式

帧内定义		值	说明
帧头	引导值（1 Bytes）	FE	
	版本号（1 Bytes）	01	
	长度（2 Bytes）	00 1E	
	命令号（2 Bytes）	27 12	
	序列号（2 Bytes）	XX XX	当前帧的序号
数据	类型字节（1 Bytes）	**0A**	
	长度字节	00	

包	类型字节（1 Bytes）		**12**	
	长度字节（1 Bytes）		12	
	数据字节	数据类型（2 Bytes）	05 0B	表示数据测试错误
		数据内容 1（1 Bytes）	01	代表血压数据
		数据内容 2（15 Bytes）	00 00 …… 00 00	保留

举例：

FE 01 00 1E 27 12 00 04 **0A** 00 **12** 12 05 0B 01 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00

解释：

如果因为手指压力太大等原因造成测量结果生成错误，从机会返回该数据测试错误帧。其中 05 0B 代表数据测试错误，01 代表血压数据，05 0B 01 合在一起代表血压数据测试错误。

6.2.5 从机停止血压测试返回格式

主机发送停止测试指令后，设备会发送该数据帧进行应答。

帧内定义			值	说明
帧头	引导值（1 Bytes）		FE	
	版本号（1 Bytes）		01	
	长度（2 Bytes）		00 1E	
	命令号（2 Bytes）		27 12	
	序列号（2 Bytes）		XX XX	当前帧的序号
数据包	类型字节（1 Bytes）		**0A**	
	长度字节		00	
	类型字节（1 Bytes）		**12**	
	长度字节（1 Bytes）		12	
	数据字节	数据内容 1（2 Bytes）	08 02	
		数据内容 2（16 Bytes）	00 00 …… 00 00	

6.2.6 从机设置客户密钥返回指令格式

主机发送开始测试指令后，设备会发送该数据帧进行应答。

帧内定义		值	说明
帧头	引导值（1 Bytes）	FE	
	版本号（1 Bytes）	01	
	长度（2 Bytes）	00 1E	
	命令号（2 Bytes）	27 12	
	序列号（2 Bytes）	XX XX	当前帧的序号
数据	类型字节（1 Bytes）	0A	
	长度字节（1 Bytes）	00	

包	类型字节（1 Bytes）		12	
	长度字节（1 Bytes）		12	
	数据字节	数据内容 1（2 Bytes）	03 07	
		数据内容 2（16 Bytes）	00 00 …… 00 00	

7 蓝牙术语与定义

APP: 指安装在手机上的应用程序。
主机： 本文中指安装有APP的手机。
从机： 本文中指使用低功耗蓝牙技术的设备。

8 蓝牙广播

8.1 广播类型

按照协议，本设计选取广播类型为非定向可连接广播，即 ADV_IND。

8.2 广播规则

广播规则定义如下：
1、从机正常广播时间间隔设置为1.25s。
2、从机充电状态广播时间间隔设置为 62.5ms。
3、蓝牙服务
在设计中使用自定义以下属性：

Attribute Handle	UUID	Attribute Type	Attribute Value
0x000C	0xFEE7	Primary Service	wechat Service

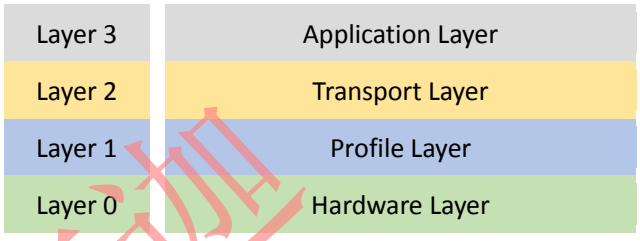
9 蓝牙数据通信

主机和从机处于连接状态时，双方进入数据通信模式。

9.1 私有通信协议架构

9.1.1 协议架构图

数据通信协议分为四层，如下所示：



9.1.2 Layer 0—Hardware Layer

9.1.2.1 Layer 0 描述

Layer 0 为蓝牙核心规范 4.0 内定义的蓝牙协议栈，主要是逻辑链路层控制和适配协议（L2CAP）和通用属性配置文件（GATT）。

根据蓝牙规范，在 L2CAP 层上传输的 Data PDU Payload 有两种：LL Control PDU 和 LL Data PDU，由 Data PDU Header 内的 LLID 字段确定：

LLID	Definition
00b	保留
01b	LL Data PDU 逻辑链路层数据 PDU，表示 L2CAP 报文延续，或者是一个空的 PDU
10b	LL Data PDU 逻辑链路层数据 PDU，表示 L2CAP 报文开始，或者是一个完整的报文
11b	LL Control PDU 逻辑链路层控制 PDU，用于管理连接

GATT 协议栈基于 L2CAP 层的 LL Data PDU。

9.1.3 Layer 1—Profile Layer

在蓝牙协议栈中，layer1 由微信定义的 UART Profile 实现，ServiceUUID 为 0xFEE7（该 uuid 经蓝牙官方授权）。蓝牙设备需要暴露 3 个特征值（Characteristics）：Write 特征值，

Read 特征值，Indication 特征值。

蓝牙设备从 Write 特征值接受数据，从 Indication 特征值发送数据。Read 特征值内容为 6 字节的 MAC 地址，当 ios 上的其他 app 连接上设备时，设备不会再广播，微信会读取该特征值，以确定是否要连接该设备

write interface 和 receive interface 的 MTU 为 20 字节。

9.1.4 Layer 2 —Transport Layer

9.1.4.1 Layer 2 功能描述

Layer 2 为 Transport 层，在 Layer 1 层上实现数据的传输。

数据传输以大端（MSB）在前（高字节在前）。

9.1.4.2 Layer 2 数据包结构

Layer 2 Packet 由 Header 和 Payload 组成，定义如下：

MSB **LSB**

Layer 2 Header	Layer 2 Payload
8 bytes	0-512 bytes

Layer 2 Header 部分定义：

MSB **LSB**

Preamble	Version	Length	Cmd Id	Sequence ID
1 bytes	1 bytes	2 bytes	2 bytes	2 bytes
0xFE	0x01	长度	命令号	序列号

Preamble： 数据头引导字段，固定为 0xFE。

Version： 本协议层的版本号，初始为 0x01。

Length： Layer 2 Header 及数据载荷部分的字节总长度。

Cmd Id： 命令号

Sequence ID： 数据包的序列号，从 0x0001 开始表示发送方发送的第一包数据，以后每发送一次数据，递增一次。设备端发送的 **Sequence ID** 永不为 0，手机端发送回应的 **Sequence ID** 和设备端发送的相同。手机端主动发送的 push 命令 **Sequence** ID 永远为 0。数据包采用 Protoalbuf 打包。

9.1.5 Layer 3 —Application Layer

9.1.5.1 Layer 3 数据包结构

Layer 3 Packet 基于 Layer 2 Payload，主体由 protobuf 协议构成。

每个 Protobuf 包由如下 3 个部分组成：

类型字节	长度字节	数据字节
1 bytes	不定	由长度位决定

如果 protobuf 的长度字节为 0，数据字节不存在。

Layer 3 Packet 共有 3 个 protobuf 包分别为：

类型字节	长度字节	数据字节
0A	不定	由长度位决定
12	1 bytes	由长度位决定
18	不定	由长度位决定

主机与从机的通信数据，在类型为 12 的 protobuf 包中传输，该包中的数据字节定义如下：

MSB **LSB**

Header	Payload（Key Value）
2 bytes	0-510 bytes

其中 Header 定义：

MSB **LSB**

Command ID	Key ID
1 bytes	1 bytes

Command ID: 命令字。

Key ID: 关键字

不同的 Command ID 有不同的 Payload 定义，详见下一节描述。

相同 Command ID 下拥有不同的 Key ID 以实现不同的功能，详见下一节描述。

9.1.6 举例

一包完整数据帧的内容为：FE 01 00 11 75 31 00 00 0A 00 12 03 08 01 01 18 00。

其中：FE 01 00 11 75 31 00 00 为 Layer 2 Header，解析如下：

Layer 2 Header

Preamble	Version	Length	Cmd Id	Sequence ID
1 bytes	1 bytes	2 bytes	2 bytes	2 bytes
0xFE	0x01	00 11 即 17	75 31 即 30001	00 00 即 0

0A 00 12 03 08 01 01 18 00 为 Layer 3 Packet，由 3 个 protobuf 包组成，解析如下：

类型字节	长度字节	数据字节
0A	00	无
12	03	08 01 01
18	00	无

类型 12 的 protobuf 包中的数据字节 08 01 01 解析如下：

MSB **LSB**

Header		Payload（Key Value）
2 bytes		1 bytes
08	01	01

10 蓝牙功能命令定义

10.1 命令列表

Command ID	定义
0x03	设置命令
0x05	数据同步命令
0x08	控制命令
0xFF	握手命令

10.2 设置命令（0x03）

10.2.1 设置命令 Key ID 列表

Key ID	定义
0x07	设定用户密钥

0x07	设定用户密钥

10.2.2 设定用户密钥参数 Key（0x07）

key	X1	.....	X16
0x07	密钥低字节	.....	密钥高字节

10.2.3 设定用户密钥参数返回 Key（0x07）

Return Key	定义
0x00	客户密钥参数设置成功
0x01	客户密钥参数设置失败

10.3 数据同步（0x05）

10.3.1 数据同步命令 Key ID 列表

Key ID	定义
0x03	同步未同步数据
0x03	同步未同步数据返回
0x09	同步当前血压波形数据
0x09	同步当前血压波形数据返回
0x0B	数据同步发生错误 需要停止

10.3.2 同步未同步数据 Key （0x03）

10.3.2.1 功能描述

手机端通过这个 Key 向设备请求所有存储的未同步数据。

10.3.2.2 Key Value 内容

无。

10.3.3 同步未同步数据返回 Key （0x03）

10.3.3.1 功能描述

设备端通过这个 Key 向手机发送所有存储的未同步数据。

10.3.3.2 Key Value 内容

数据解析见 6.2.3 章节。

10.3.4 同步当前波形数据 Key （0x09）

10.3.4.1 功能描述

手机端通过这个 Key 读取设备当前的波形数据。

10.3.4.2 Key Value 内容

无。

10.3.5 同步当前波形数据返回 Key （0x09）

10.3.5.1 功能描述

设备端通过这个 key 向手机端发送当前波形数据。

10.3.5.2 Key Value 内容

波形数据数据解析见 6.2.2 章节。

10.3.6 数据同步发生错误 Key （0x0B）

10.3.6.1 功能描述

设备端通过这个 key 向通知主机数据测试错误。

10.3.6.2 Key Value 内容

无。

10.4 控制命令（0x08）

该命令实现主机对设备的控制或设备对主机的控制功能。

10.4.1 控制命令 key ID 列表

Key ID	定义
0x01	设备启动一次测量
0x01	设备启动一次测量返回
0x02	设备停止当前测量
0x02	设备停止当前测量返回

10.4.2 设备启动一次测量 key（0x01）

10.4.2.1 功能描述

主机通过该命令控制设备启动一次测量。

10.4.2.2 Key Value 内容

Return Key	定义
0x01	启动血压测试
0x02	启动 ECG 测试
0x03	启动血氧测试（预留）

10.4.3 设备启动一次测量返回 key（0x01）

10.4.3.1 功能描述

设备通过该命令返回是否成功启动测量。

10.4.3.2 Key Value 内容

MSB LSB

Key Value（8 bytes）	
Return Key	Reserve
1 byte	0 bytes

Return Key	定义
0x00	启动测量成功
0x01	电池电量不足

10.4.4 设备停止当前测量 key（0x02）

10.4.4.1 功能描述

主机通过该命令控制设备停止当前测量。

10.4.4.2 Key Value 内容

Return Key	定义
0x01	血压测试停止
0x02	ECG 测试停止
0x03	血氧测试停止（预留）

10.4.5 设备停止当前测量返回 key（0x02）

10.4.5.1 功能描述

设备通过该命令返回是否成功停止测量。

10.4.5.2 Key Value 内容

Return Key	定义
0x01	血压测试停止
0x02	ECG 测试停止
0x03	血氧测试停止（预留）

10.5 握手命令（0xFF）

10.5.1 握手命令 Key ID 列表

Key ID	定义
0x01	握手命令请求
0x01	握手请求返回

10.5.2 握手命令请求 Key （0x01）

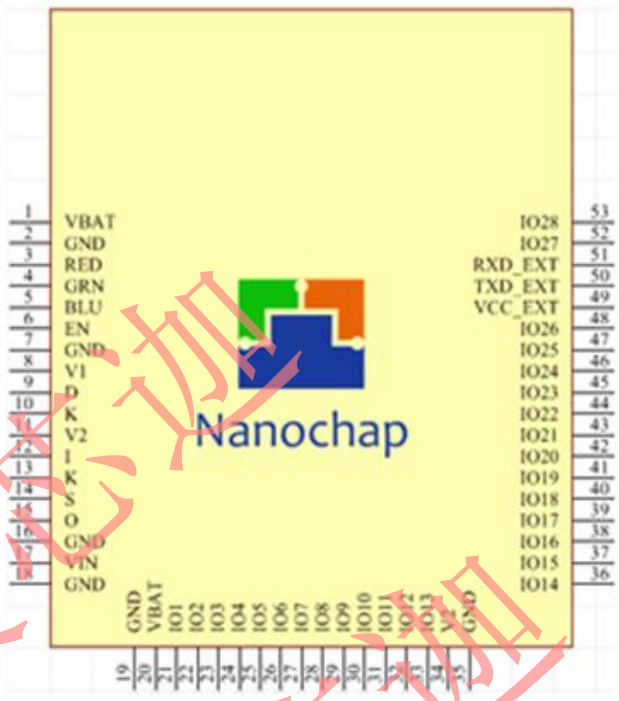
10.5.2.1 功能描述

手机端通过这个 Key 向设备发送握手信息。此命令 Key 在连接上设备后必须首先发送。

10.5.2.2 Key Value 内容

当前时间信息，同时间设置 key value。

11 引脚分布图

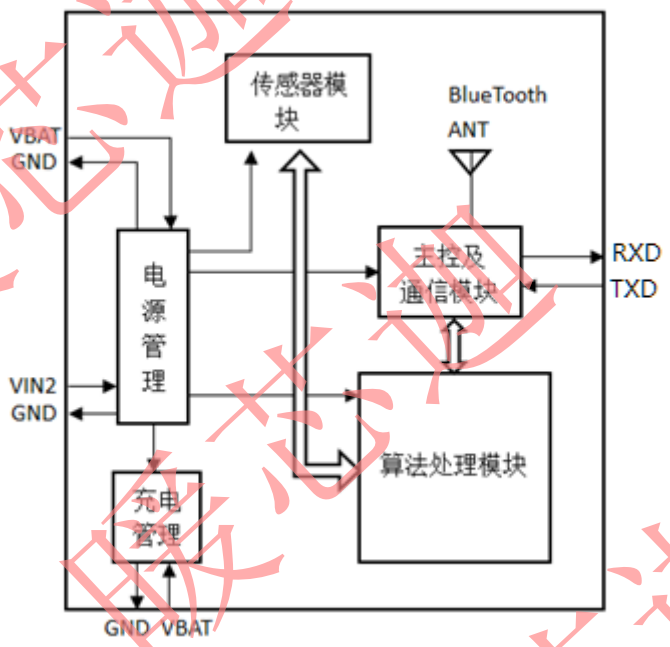


11.1 引脚说明

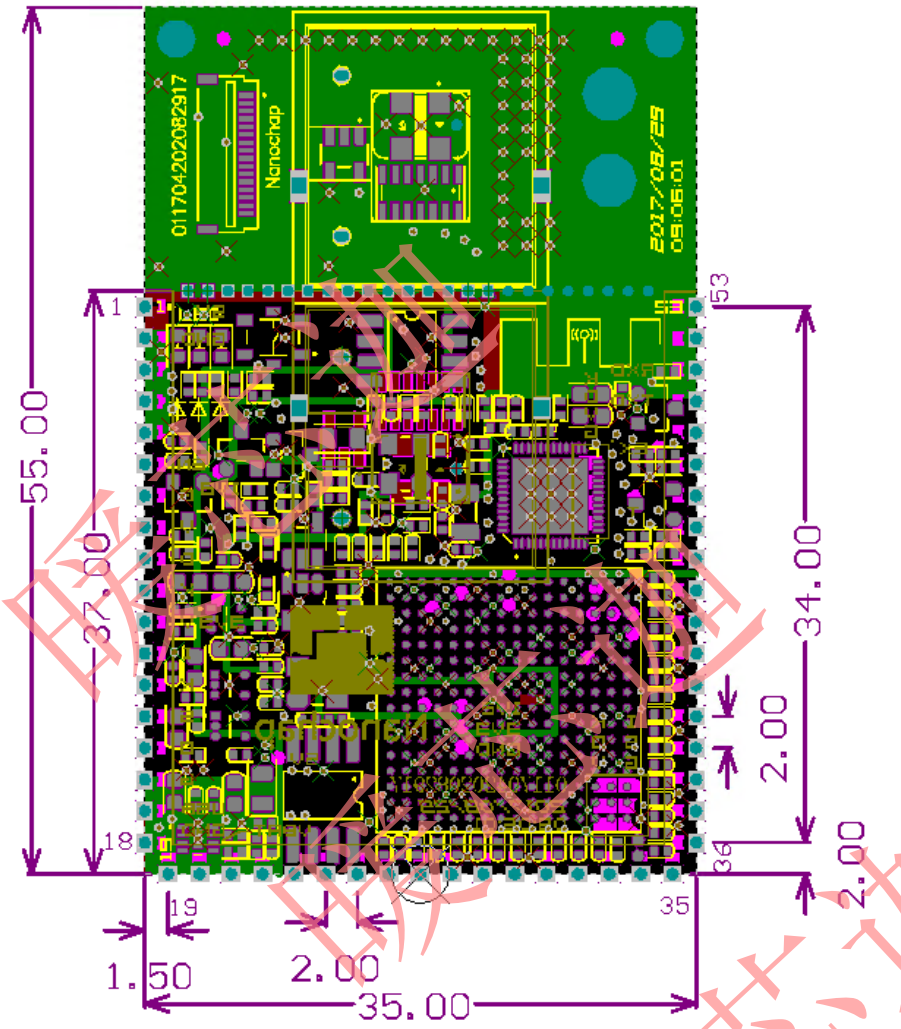
管脚序号	信号名称	信号类型	备注
1	VBAT	IN	外接电池接口(与管脚 20 内部连通)，可外接可充电 4.2V 锂电池，充电电流 194mA,充满关断电流 8mA
2,7,16,18,19,35	GND	IN	模组接地引脚
3	RED	OUT	指示灯接口 （红灯）
4	GRN	OUT	指示灯接口（绿灯）
5	BLU	OUT	指示灯接口（蓝灯）
6	EN	IN	模组使能，默认高电平，接低电平时关断模组
8	V1	OUT	模组内部电源输出 1，3.3V，最大 200mA
9	D	I/O	调试接口，请悬空
10	K	I/O	调试接口，请悬空
11,34	V2	OUT	模组内部电源输出 2，3.3V，最大 100mA
12	I	I/O	调试接口，请悬空
13	K	I/O	调试接口，请悬空
14	S	I/O	调试接口，请悬空
15	O	I/O	调试接口，请悬空

17	VIN2	IN	模组供电输入接口（+5V）
20	VBAT	IN	外接电池接口(与管脚 1 内部连通)
21~33,36~48,52,53	IOs	I/O	数字 IO 口，可定制功能，不用请悬空
49	VCC_EXT	IN	外部 UART 电平输入
50	TXD	IN	UART 接口，接外部的 TXT
51	RXD	OUT	UART 接口，接外部的 RXD

12 功能框图

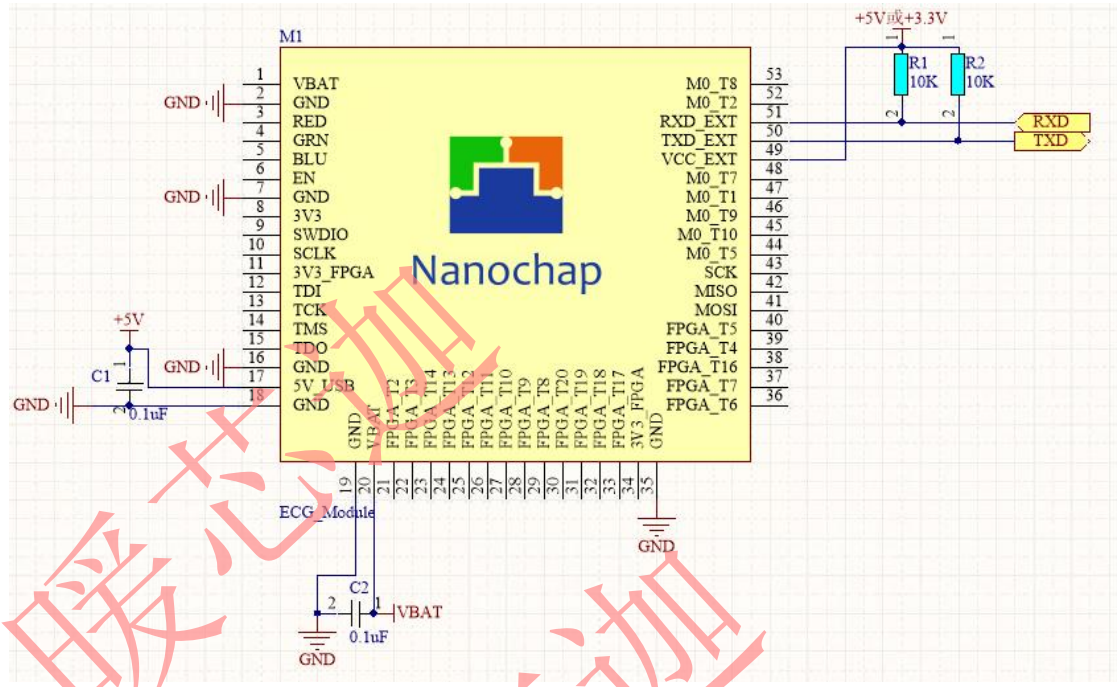


13 管脚尺寸



具体尺寸如上图所示，单位均为毫米，模组左边有 **18** 个邮票孔连接，下方有 **17** 个邮票孔连接，右边有 **18** 个邮票孔连接。

14 典型应用



15 回流焊焊接温度曲线

回流焊温度曲线

项目	值
升温速率Ts 最大值到TL	最大值3°C/秒
预热 最小温度值（Ts Min.） 典型温度值（Ts Typ.） 最大温度值（Ts Max.） 时间(Ts)	 150°C 175°C 200°C 60~180 秒
升温速率（TL 到TP ）	最大值3°C/秒
持续时间：温度（TL）/时间（TL）	217°C/60 ~150 秒
温度峰值（TP ）	最高温度260°C，持续10 秒
目标温度峰值（TP 目标值）	260°C +0/-5°C
实际温度峰值（tP ）5°C 持续时间	20 ~ 40 秒
降温速率TS 最大值到TL	最大值6°C/秒
从25°C 调至温度峰值所需时间（t）	最长8 分钟

16 测试 APP 下载

测试 APP 下载请访问杭州暖芯迦电子科技有限公司官网 http://www.nanochap.cn。

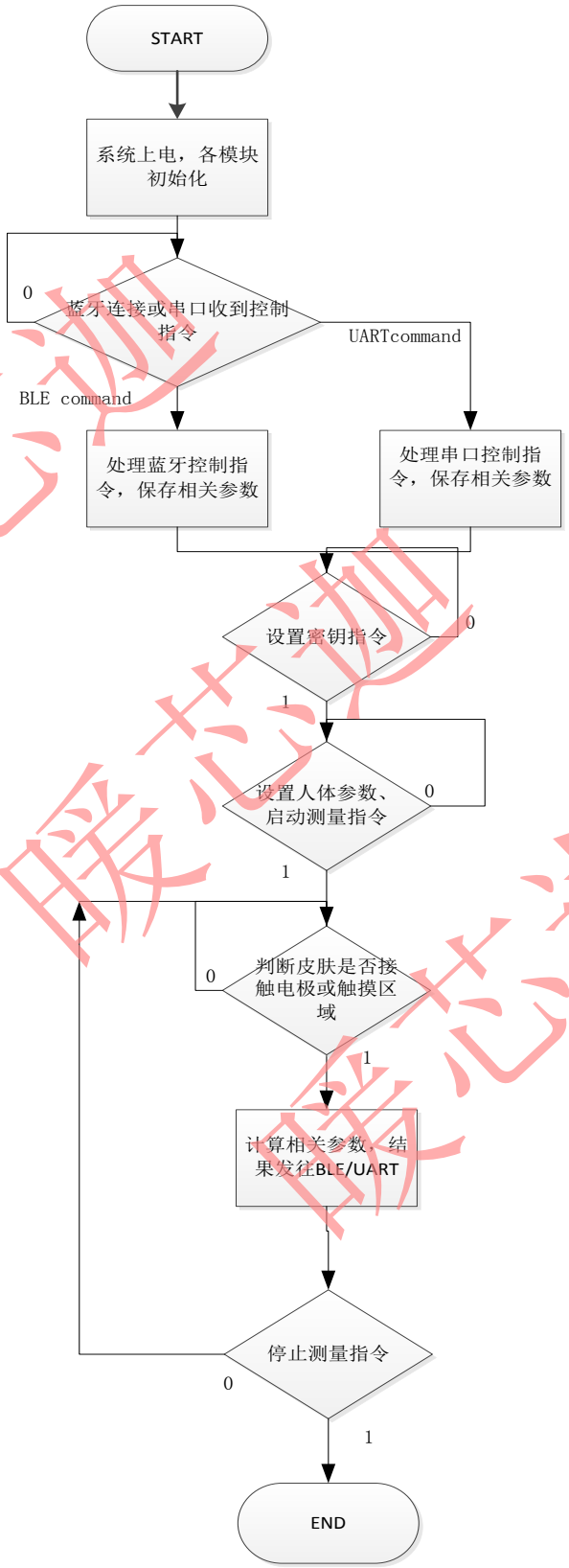
16.1 测试 APP 使用说明

客户使用原厂测试 APP 原则上仅供测试使用。如客户使用本模块配合原厂测试 APP 做产品销售于二次客户，可能存在其他客户也可连接、控制的风险。

16.2 SDK 使用说明

SDK 使用时，需客户根据公司或个人情况及 SDK 密钥设置规则设置加密密钥，后续数据解析必须使用此密钥解析，一旦设置密钥生效，客户无法二次更改。如需更改密钥请联系厂家返厂重置。

17 模块控制流程图



18 加密规则及数据解密算法

18.1 加密规则

数据加密仅对数据字节内的有效结果加密，对命令字节和关键字字节均不加密。
例：6.2.1 章节从机启动 ECG 测量返回格式中仅对数据字节 2 的内容做加密。

18.2 解密算法

用户只需将自己生成的密钥替换如下 AES128 密钥的十六字节数组值，调用 AES 解密函数即可完成数据解密。

```
int K;                                  /**< K. */
int Nb = 4;                             /**< Nb. */
int Nk;                                 /**< Nk. */
int Nr;                                 /**< Nr. */

uint8_t R[] = {0x02, 0x00, 0x00, 0x00};         /**< R. */

 /**@brief AES128 密钥.
 */
 uint8_t aes_key[] = {
      0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
      0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
      0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
      0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
};//用户根据自己的实际加密密钥填入 16 字节密钥

const uint8_t s_box[256] = {                                    /**< 加密 S 盒. */
   // 0     1     2     3     4     5     6     7     8     9     a     b     c
d     e     f
   0x63, 0x7c, 0x77, 0x7b, 0xf2, 0x6b, 0x6f, 0xc5, 0x30, 0x01, 0x67, 0x2b, 0xfe, 0xd7, 0xab, 0x76,
// 0
   0xca, 0x82, 0xc9, 0x7d, 0xfa, 0x59, 0x47, 0xf0, 0xad, 0xd4, 0xa2, 0xaf, 0x9c, 0xa4, 0x72, 0xc0, //
1
   0xb7, 0xfd, 0x93, 0x26, 0x36, 0x3f, 0xf7, 0xcc, 0x34, 0xa5, 0xe5, 0xf1, 0x71, 0xd8, 0x31, 0x15, //
2
```

```
    0x04, 0xc7, 0x23, 0xc3, 0x18, 0x96, 0x05, 0x9a, 0x07, 0x12, 0x80, 0xe2, 0xeb, 0x27, 0xb2, 0x75,
// 3
    0x09, 0x83, 0x2c, 0x1a, 0x1b, 0x6e, 0x5a, 0xa0, 0x52, 0x3b, 0xd6, 0xb3, 0x29, 0xe3, 0x2f, 0x84,
// 4
    0x53, 0xd1, 0x00, 0xed, 0x20, 0xfc, 0xb1, 0x5b, 0x6a, 0xcb, 0xbe, 0x39, 0x4a, 0x4c, 0x58, 0xcf,
// 5
    0xd0, 0xef, 0xaa, 0xfb, 0x43, 0x4d, 0x33, 0x85, 0x45, 0xf9, 0x02, 0x7f, 0x50, 0x3c, 0x9f, 0xa8, //
6
    0x51, 0xa3, 0x40, 0x8f, 0x92, 0x9d, 0x38, 0xf5, 0xbc, 0xb6, 0xda, 0x21, 0x10, 0xff, 0xf3, 0xd2, //
7
    0xcd, 0x0c, 0x13, 0xec, 0x5f, 0x97, 0x44, 0x17, 0xc4, 0xa7, 0x7e, 0x3d, 0x64, 0x5d, 0x19, 0x73,
// 8
    0x60, 0x81, 0x4f, 0xdc, 0x22, 0x2a, 0x90, 0x88, 0x46, 0xee, 0xb8, 0x14, 0xde, 0x5e, 0x0b, 0xdb,
// 9
    0xe0, 0x32, 0x3a, 0x0a, 0x49, 0x06, 0x24, 0x5c, 0xc2, 0xd3, 0xac, 0x62, 0x91, 0x95, 0xe4, 0x79,
// a
    0xe7, 0xc8, 0x37, 0x6d, 0x8d, 0xd5, 0x4e, 0xa9, 0x6c, 0x56, 0xf4, 0xea, 0x65, 0x7a, 0xae, 0x08,
// b
    0xba, 0x78, 0x25, 0x2e, 0x1c, 0xa6, 0xb4, 0xc6, 0xe8, 0xdd, 0x74, 0x1f, 0x4b, 0xbd, 0x8b, 0x8a,
// c
    0x70, 0x3e, 0xb5, 0x66, 0x48, 0x03, 0xf6, 0x0e, 0x61, 0x35, 0x57, 0xb9, 0x86, 0xc1, 0x1d, 0x9e,
// d
    0xe1, 0xf8, 0x98, 0x11, 0x69, 0xd9, 0x8e, 0x94, 0x9b, 0x1e, 0x87, 0xe9, 0xce, 0x55, 0x28, 0xdf,
// e
    0x8c, 0xa1, 0x89, 0x0d, 0xbf, 0xe6, 0x42, 0x68, 0x41, 0x99, 0x2d, 0x0f, 0xb0, 0x54, 0xbb, 0x16
// f
};

const uint8_t inv_s_box[256] = {                                    /**< 解密 S 盒. */
    // 0    1    2    3    4    5    6    7    8    9    a    b    c
d    e    f
    0x52, 0x09, 0x6a, 0xd5, 0x30, 0x36, 0xa5, 0x38, 0xbf, 0x40, 0xa3, 0x9e, 0x81, 0xf3, 0xd7, 0xfb,
// 0
    0x7c, 0xe3, 0x39, 0x82, 0x9b, 0x2f, 0xff, 0x87, 0x34, 0x8e, 0x43, 0x44, 0xc4, 0xde, 0xe9, 0xcb, //
1
    0x54, 0x7b, 0x94, 0x32, 0xa6, 0xc2, 0x23, 0x3d, 0xee, 0x4c, 0x95, 0x0b, 0x42, 0xfa, 0xc3, 0x4e,
// 2
    0x08, 0x2e, 0xa1, 0x66, 0x28, 0xd9, 0x24, 0xb2, 0x76, 0x5b, 0xa2, 0x49, 0x6d, 0x8b, 0xd1, 0x25,
// 3
    0x72, 0xf8, 0xf6, 0x64, 0x86, 0x68, 0x98, 0x16, 0xd4, 0xa4, 0x5c, 0xcc, 0x5d, 0x65, 0xb6, 0x92,
// 4
    0x6c, 0x70, 0x48, 0x50, 0xfd, 0xed, 0xb9, 0xda, 0x5e, 0x15, 0x46, 0x57, 0xa7, 0x8d, 0x9d, 0x84,
// 5
```

```
    0x90, 0xd8, 0xab, 0x00, 0x8c, 0xbc, 0xd3, 0x0a, 0xf7, 0xe4, 0x58, 0x05, 0xb8, 0xb3, 0x45, 0x06,
// 6
    0xd0, 0x2c, 0x1e, 0x8f, 0xca, 0x3f, 0x0f, 0x02, 0xc1, 0xaf, 0xbd, 0x03, 0x01, 0x13, 0x8a, 0x6b, //
7
    0x3a, 0x91, 0x11, 0x41, 0x4f, 0x67, 0xdc, 0xea, 0x97, 0xf2, 0xcf, 0xce, 0xf0, 0xb4, 0xe6, 0x73, //
8
    0x96, 0xac, 0x74, 0x22, 0xe7, 0xad, 0x35, 0x85, 0xe2, 0xf9, 0x37, 0xe8, 0x1c, 0x75, 0xdf, 0x6e,
// 9
    0x47, 0xf1, 0x1a, 0x71, 0x1d, 0x29, 0xc5, 0x89, 0x6f, 0xb7, 0x62, 0x0e, 0xaa, 0x18, 0xbe, 0x1b,
// a
    0xfc, 0x56, 0x3e, 0x4b, 0xc6, 0xd2, 0x79, 0x20, 0x9a, 0xdb, 0xc0, 0xfe, 0x78, 0xcd, 0x5a, 0xf4,
// b
    0x1f, 0xdd, 0xa8, 0x33, 0x88, 0x07, 0xc7, 0x31, 0xb1, 0x12, 0x10, 0x59, 0x27, 0x80, 0xec, 0x5f,
// c
    0x60, 0x51, 0x7f, 0xa9, 0x19, 0xb5, 0x4a, 0x0d, 0x2d, 0xe5, 0x7a, 0x9f, 0x93, 0xc9, 0x9c, 0xef, //
d
    0xa0, 0xe0, 0x3b, 0x4d, 0xae, 0x2a, 0xf5, 0xb0, 0xc8, 0xeb, 0xbb, 0x3c, 0x83, 0x53, 0x99, 0x61,
// e
    0x17, 0x2b, 0x04, 0x7e, 0xba, 0x77, 0xd6, 0x26, 0xe1, 0x69, 0x14, 0x63, 0x55, 0x21, 0x0c,
0x7d// f
};

//static uint8_t gadd(uint8_t a, uint8_t b)
//{
//    return a^b;
//}

//static uint8_t gsub(uint8_t a, uint8_t b)
//{
//    return a^b;
//}

/**@brief  乘法.
 */
static uint8_t gmult(uint8_t a, uint8_t b)
{
    uint8_t p = 0, i = 0, hbs = 0;

    for (i = 0; i < 8; i++) {
        if (b & 1) {
            p ^= a;
        }
```

```
        hbs = a & 0x80;
        a <<= 1;
        if (hbs) a ^= 0x1b; // 0000 0001 0001 1011
        b >>= 1;
    }

    return (uint8_t)p;
}

/**@brief  加法.
 */
static void coef_add(uint8_t a[], uint8_t b[], uint8_t d[])
{

    d[0] = a[0]^b[0];
    d[1] = a[1]^b[1];
    d[2] = a[2]^b[2];
    d[3] = a[3]^b[3];
}

/**@brief  系数加法.
 */
static void coef_mult(uint8_t *a, uint8_t *b, uint8_t *d)
{

    d[0] = gmult(a[0],b[0])^gmult(a[3],b[1])^gmult(a[2],b[2])^gmult(a[1],b[3]);
    d[1] = gmult(a[1],b[0])^gmult(a[0],b[1])^gmult(a[3],b[2])^gmult(a[2],b[3]);
    d[2] = gmult(a[2],b[0])^gmult(a[1],b[1])^gmult(a[0],b[2])^gmult(a[3],b[3]);
    d[3] = gmult(a[3],b[0])^gmult(a[2],b[1])^gmult(a[1],b[2])^gmult(a[0],b[3]);
}

/**@brief
 */
static uint8_t * Rcon(uint8_t i)
{

    if (i == 1) {
        R[0] = 0x01; // x^(1-1) = x^0 = 1
    } else if (i > 1) {
        R[0] = 0x02;
        i--;
        while (i-1 > 0) {
            R[0] = gmult(R[0], 0x02);
```

```
            i--;
        }
    }

    return R;
}

/**@brief  循环加.
 */
static void add_round_key(uint8_t *state, uint8_t *w, uint8_t r)
{

    uint8_t c;

    for (c = 0; c < Nb; c++) {
        state[Nb*0+c] = state[Nb*0+c]^w[4*Nb*r+Nb*c+0];
        state[Nb*1+c] = state[Nb*1+c]^w[4*Nb*r+Nb*c+1];
        state[Nb*2+c] = state[Nb*2+c]^w[4*Nb*r+Nb*c+2];
        state[Nb*3+c] = state[Nb*3+c]^w[4*Nb*r+Nb*c+3];
    }
}

/**@brief  混合列.
 */
static void mix_columns(uint8_t *state)
{

    uint8_t a[] = {0x02, 0x01, 0x01, 0x03}; // a(x) = {02} + {01}x + {01}x2 + {03}x3
    uint8_t i, j, col[4], res[4];

    for (j = 0; j < Nb; j++) {
        for (i = 0; i < 4; i++) {
            col[i] = state[Nb*i+j];
        }

        coef_mult(a, col, res);

        for (i = 0; i < 4; i++) {
            state[Nb*i+j] = res[i];
        }
    }
}
```

```
/**@brief 逆向列混合.
 */
static void inv_mix_columns(uint8_t *state)
{

    uint8_t a[] = {0x0e, 0x09, 0x0d, 0x0b}; // a(x) = {0e} + {09}x + {0d}x2 + {0b}x3
    uint8_t i, j, col[4], res[4];

    for (j = 0; j < Nb; j++) {
        for (i = 0; i < 4; i++) {
            col[i] = state[Nb*i+j];
        }

        coef_mult(a, col, res);

        for (i = 0; i < 4; i++) {
            state[Nb*i+j] = res[i];
        }
    }
}

/**@brief 行移.
 */
static void shift_rows(uint8_t *state)
{

    uint8_t i, k, s, tmp;

    for (i = 1; i < 4; i++) {
        // shift(1,4)=1; shift(2,4)=2; shift(3,4)=3
        // shift(r, 4) = r;
        s = 0;
        while (s < i) {
            tmp = state[Nb*i+0];

            for (k = 1; k < Nb; k++) {
                state[Nb*i+k-1] = state[Nb*i+k];
            }

            state[Nb*i+Nb-1] = tmp;
            s++;
        }
    }
```

```
}

/**@brief 逆向行移.
 */
static void inv_shift_rows(uint8_t *state)
{

    uint8_t i, k, s, tmp;

    for (i = 1; i < 4; i++) {
        s = 0;
        while (s < i) {
            tmp = state[Nb*i+Nb-1];

            for (k = Nb-1; k > 0; k--) {
                state[Nb*i+k] = state[Nb*i+k-1];
            }

            state[Nb*i+0] = tmp;
            s++;
        }
    }
}

/**@brief ？.
 */
static void sub_bytes(uint8_t *state)
{

    uint8_t i, j;
    uint8_t row, col;

    //???0??
    for (i = 0; i < 4; i++) {
        for (j = 0; j < Nb; j++) {
            row = (state[Nb*i+j] & 0xf0) >> 4;
            col = state[Nb*i+j] & 0x0f;
            state[Nb*i+j] = s_box[16*row+col];
        }
    }
}

/**@brief ？.
```

```
 */
static void inv_sub_bytes(uint8_t *state)
{

    uint8_t i, j;
    uint8_t row, col;

    for (i = 0; i < 4; i++) {
        for (j = 0; j < Nb; j++) {
            row = (state[Nb*i+j] & 0xf0) >> 4;
            col = state[Nb*i+j] & 0x0f;
            state[Nb*i+j] = inv_s_box[16*row+col];
        }
    }
}

/**@brief ？.
 */
static void sub_word(uint8_t *w)
{

    uint8_t i;

    for (i = 0; i < 4; i++) {
        w[i] = s_box[16*((w[i] & 0xf0) >> 4) + (w[i] & 0x0f)];
    }
}

/**@brief ？.
 */
static void rot_word(uint8_t *w)
{

    uint8_t tmp;
    uint8_t i;

    tmp = w[0];

    for (i = 0; i < 3; i++) {
        w[i] = w[i+1];
    }

    w[3] = tmp;
```

```
}

/**@brief  密钥展开.
  */
static void key_expansion(const uint8_t *key, uint8_t *w)
{

    uint8_t tmp[4];
    uint8_t i;
    uint8_t len = Nb*(Nr+1);

    for (i = 0; i < Nk; i++) {
        w[4*i+0] = key[4*i+0];
        w[4*i+1] = key[4*i+1];
        w[4*i+2] = key[4*i+2];
        w[4*i+3] = key[4*i+3];
    }

    for (i = Nk; i < len; i++) {
        tmp[0] = w[4*(i-1)+0];
        tmp[1] = w[4*(i-1)+1];
        tmp[2] = w[4*(i-1)+2];
        tmp[3] = w[4*(i-1)+3];

        if (i%Nk == 0) {

            rot_word(tmp);
            sub_word(tmp);
            coef_add(tmp, Rcon(i/Nk), tmp);

        } else if (Nk > 6 && i%Nk == 4) {

            sub_word(tmp);

        }

        w[4*i+0] = w[4*(i-Nk)+0]^tmp[0];
        w[4*i+1] = w[4*(i-Nk)+1]^tmp[1];
        w[4*i+2] = w[4*(i-Nk)+2]^tmp[2];
        w[4*i+3] = w[4*(i-Nk)+3]^tmp[3];
    }
}
```

```
/**@brief AES 解密函数. inv_cipher
 */
static void inv_cipher(uint8_t *in, uint8_t *out, uint8_t *w)
{

    uint8_t state[4*Nb];
    uint8_t r, i, j;

    for (i = 0; i < 4; i++) {
        for (j = 0; j < Nb; j++) {
            state[Nb*i+j] = in[i+4*j];
        }
    }

    add_round_key(state, w, Nr);

    for (r = Nr-1; r >= 1; r--) {
        inv_shift_rows(state);
        inv_sub_bytes(state);
        add_round_key(state, w, r);
        inv_mix_columns(state);
    }

    inv_shift_rows(state);
    inv_sub_bytes(state);
    add_round_key(state, w, 0);

    for (i = 0; i < 4; i++) {
        for (j = 0; j < Nb; j++) {
            out[i+4*j] = state[Nb*i+j];
        }
    }
}

/**@brief AES 解密函数.
 */
uint32_t nanochap_AES_inv_cipher(uint8_t *in, uint8_t *out)
{
        uint8_t *w;                     // expanded key
        switch (sizeof(aes_key)) {
                default:
                case 16: Nk = 4; Nr = 10; break;
```

```
            case 24: Nk = 6; Nr = 12; break;
            case 32: Nk = 8; Nr = 14; break;
        }
        w = malloc(Nb*(Nr+1)*4);
        key_expansion(aes_key, w);
        inv_cipher(in, out, w);

        free(w);

        return 0;
}
```