

## 文档说明

日期： 2025/12/30

内容：根据马博在 ScanConfig-v0.1 中描述的 Rongbuk 硬件 Scan 配置定义与方式，结合成像的具体需求，草拟该方案供讨论。

每次扫查，成像相关的配置主要有：1. 发射与接收通道选择，2. 波形（或 Pattern）配置，3. Scan 序列及发射 Delay 的配置。下面将展开分别描述：

### 1. 发射与接收通道选择

发射通道选择：通过下发一个名为 **txApodization** 的 32 阵元的数组控制 TX7332 对应 32 通道的开启或关闭（Register PDN\_PUL\_n）。数组内各阵元数值范围为 [0, 1]，其中 0 为关闭，大于 0 的数值为开启。对于非 0 数值，1 为开启并满幅电压激励，0 到 1 之间的数值控制发射变迹，即控制当前发射通道的激励电压相对于满幅电压的比值。每组 txApodization 中非零数值需相邻，即探头的发射阵元需连续。

接收通道选择：类似的，接收通道的开启或关闭通过下发一个名为 **rxApodization** 的 64 阵元的数组控制。数组内各阵元数值范围为 0 或 1：其中 0 为关闭，1 为开启。

### 2. 波形（或 Pattern）配置

波形（pattern）主要包含三个设置：pattern Profile、repeat 和 tail，分别通过定义 profile、repeat 和 tail 的变量来下发相关参数配置。

（说明：Pattern Profile，含最多 16 个 slot，每个 slot 可以指定时长（以 BF\_CLK 为单位），高电平，低电平，地，和 float 四种状态；repeat，即 Pattern 的重复次数；tail，Pattern（包括 repeat）结束后，给低电平的时间，以 BF\_CLK 为单位（该设置实际上是为了高压信号之后充分释放线路上的电压，以免给回波带来较高的本底电压）。）

每次 Scan 的所有 Capture 使用同样的 Pattern。

### 3. Scan 序列及发射 Delay 的配置

固件的一次完整采集称为 **Scan**。当前固件使用的需求要求是一次 Scan 包含多个 Angle，一个 Angle 包含多个 Step。Step 是按照 Sliding Window 的方式选取超声发射通道；每个 Step 内开启的通道数目和位置可选，最多 64 通道，单个通道的一次扫描称为 Capture。

一次 Scan 的总 Capture 数量 = Angle # × Step # × Active channel #。

Angle 相关的配置需给出开角范围 (openAngle) 与 Angle 个数 (noOfAngles)，如 60°开角、21 个 angle，则本次 Scan 内偏转角度依次为-30°、-27°、-24°、-21°、-18°...18°、21°、24°、27°、30°。若 Angle 个数为 1 (即 noOfAngles = 1)，则偏转角度即为给定的开角。

每个 Step 内的发射和接收通道的选取按 txApodization 和 rxApodization 给出的值进行配置。理论上每个 Angle 都应有一组对应的 txApodization 和 rxApodization，若未给出则按全部为 1 配置。

每个 Angle 都应配置一组发射 Delay，对应每个 txApodization 开启的发射通道激活的相对延时时间。发射 Delay 应由 MCU 内置的程序依据相关的参数计算得出，然后控制 TX7332 对应通道的发射延时。发射 Delay 相关的下发参数有 focus、Angle 与 Tx\_apodization，其中 focus 为发射波前聚焦点距探头表面的距离，单位为 mm，如下图所示。

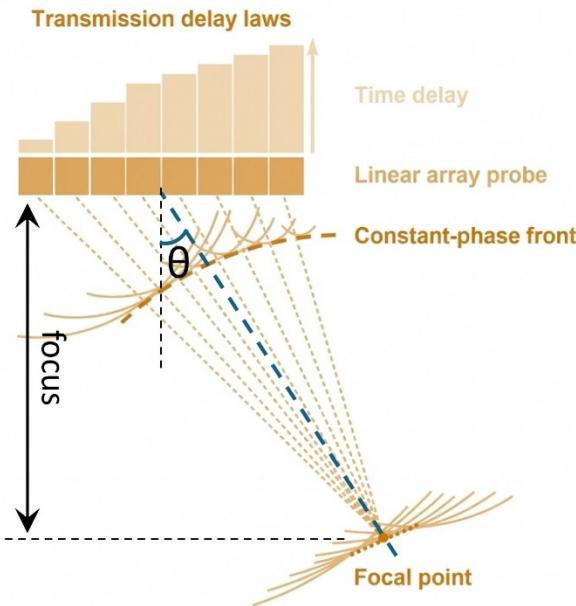


图 1. 聚焦波束发射延时示意图

对聚焦波 delay 的计算公式为：

$$Delay = \frac{focus}{c} \times \left( 1 - \sqrt{1 + \left( \frac{x_n}{focus} \right)^2 - 2 \frac{x_n}{focus} \cdot \sin \theta} \right) \quad (1)$$

其中  $c$  为人体组织中的声速，一般为 1540m/s； $x_n$  为第  $n$  个阵元相对于探头中心的距离，假设 Tx\_apodization 中定义的开启通道数为  $N$  ( $N \leq 32$ )，探头相邻两阵元的中心间距为  $pitch$ ，则  $x_n = (-\frac{N-1}{2}, -\frac{N-1}{2} + 1, -\frac{N-1}{2} + 2, \dots, \frac{N-1}{2} - 1, \frac{N-1}{2}) \times pitch$ 。

若 `focus = 0` 则发射平面波，其 `delay` 的计算公式为：

$$Delay = 1 + \frac{x_n}{c} \cdot \sin \theta \quad (2)$$

注意，`Delay` 应为非负数。通过加上或减去该组 `Delay` 中最小数值的绝对值，将整个数组的最小值平移至 0。

**其他相关配置：**发射电压，ATGC 等，待定。

#### 参数下发规则：

参数以 **Scan** 为单位下发。即对每次 `Scan`，所有相关的控制参数会统一下发至 MCU；在硬件执行完所有控制命令并将全部通道数据处理完成存储至 `buffer` 之前，不会下发其他 `Scan` 相关的参数。

示例： ScanConfig\_LinearProbe.xml

```
2 <ScanSimplex>
3   <macros>
4     <pattern id="Pulse1">
5       <profile> 1.2047  0.1977  -1.4000  0.0500  1.5000  0.0500  -1.4000  1.2047</profile>
6       <repeat> 3 </repeat>
7       <tail> 2 </tail>
8     </pattern>
9     <pattern id="Pulse2">
10      <profile> 1.0825  0.27755  -1.3067  0.0842  1.4750  0.0842  -1.3067  1.0825</profile>
11      <repeat> 2 </repeat>
12      <tail> 2 </tail>
13    </pattern>
14  </macros>
15  <gain>50</gain>
16  <txProbeDelay>0.26e-6</txProbeDelay>    发射与接收整体延时，默认为0，可不设。
17  <rxProbeDelay>0.26e-6</rxProbeDelay>
18  <ScanMode>
19    <LNAGainSel>MID</LNAGainSel>
20    <atgcDepth>0  0.006  0.025  0.04  0.31</atgcDepth>  ATGC配置，当前可不考虑
21    <atgcValue>-36  -25  -8  0  0</atgcValue>
22  <waveForms>
23    <waveFormSet id="0">
24      <eqFilter>
25        <afeFilterType>Hamming</afeFilterType>
26        <afeOrderFactor>16</afeOrderFactor>
27        <afeOversampling>11e6</afeOversampling>
28        <afeBandwidth>7.5e6</afeBandwidth>
29      </eqFilter>
30      <pulse>
31        <centerFrequency>3.2e6</centerFrequency>
32        <pattern>$Pulse1</pattern>
33      </pulse>
34    </waveFormSet>
35    <waveFormSet id="1">
36      <eqFilter>
37        <afeFilterType>Hamming</afeFilterType>
38        <afeOrderFactor>6</afeOrderFactor>
39        <afeOversampling>10e6</afeOversampling>
40        <afeBandwidth>6e6</afeBandwidth>
41      </eqFilter>
42      <pulse>
43        <centerFrequency>4.0e6</centerFrequency>
44        <pattern>$Pulse2</pattern>
45      </pulse>

```

```
48 <scanSeq>
49   <scanSeqSet id="0">      <!--Focused beam-->
50     <Tx_apodization>1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
51     <Rx_apodization>1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
52     <openAngle>60</openAngle>
53     <noOfAngles>21</noOfAngles>
54     <focusDepth>60</focusDepth>
55     <soundSpeed>1540</soundSpeed>
56   </scanSeqSet>
57   <scanSeqSet id="1">      <!--Plane wave-->
58     <Tx_apodization> 0.00  0.01  0.04  0.09  0.16
59     <Rx_apodization>1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
60     <openAngle>30</openAngle>
61     <noOfAngles>11</noOfAngles>
62     <focusDepth>0</focusDepth> focus为0时按公式（2）计算延时，即平面波
63     <soundSpeed>1540</soundSpeed>
64   </scanSeqSet>
65 </scanSeq>
66 </ScanBmode>
67 <ScanDopplerFW>
```

```
18 <ScanBmode>
19     <LNAGainSel>MID</LNAGainSel>
20     <atgcDepth>0      0.006  0.025 0.04  0.31</atgcDepth>
21     <atgcValue>-36    -25     -8      0       0</atgcValue>
22     <waveForms>
23     <scanSeq>
24
25 </ScanBmode>
26 <ScanDopplerPW>
27     <LNAGainSel>MID</LNAGainSel>
28     <atgcDepth>0      0.006  0.025 0.04  0.31</atgcDepth>
29     <atgcValue>-36    -25     -8      0       0</atgcValue>
30     <waveForms>
31     <scanSeq>
32
33 </ScanDopplerPW>
```