



Programming Chirp Parameters in TI Radar Devices

Vivek汉姆

摘要

本应用报告提供了如何根据最终应用和用例在快速FMCW雷达设备中选择正确的啁啾参数，并在TI的雷达设备上最佳编程的信息。

内容

1	介绍	2
2	啁啾配置对系统参数的影响	2
3	啁啾常见的应用程序配置	7
4	可配置的啁啾声RAM和啁啾概要文件	7
5	啁啾声时间参数	8
6	先进的啁啾声配置	11
7	基本的啁啾声配置编程序列	12
8	参考文献14	

数据列表

1	典型的FMCW啁啾声	2
2	典型的框架结构	2
3	角估计基础知识	5
4	示例天线增益模式	5
5	在MIMO雷达有效Receiver渠道	6
6	啁啾,配置RAM内存分配	8
7	例子使用斜坡时间计算器	10
8	显示三个爆发循环两次的子帧结构(起始索引偏移量为2).....	11
9	先进的两个子帧配置帧的例子	12
10	雷达配置序列	12

表格列表

1	典型的应用程序例子啁啾配置	7
2	啁啾声时间参数	8
3	典型的合成器缓降时间不同的调制带宽	9
4	典型的IF/DFE滤波延迟作为DFE模式和输出采样率的函数	10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 介绍

调频连续波(FMCW)毫米波雷达传感器在多种汽车和工业应用中越来越受欢迎。每种应用中的系统要求和注意事项可能非常不同。距离要求、距离分辨率、最大速度要求、传感器视场、数据内存、处理器MIPS等等都是需要根据最终应用进行分析的一些方面。了解FMCW啁啾配置与系统性能参数之间的关系有助于选择正确的啁啾配置。

TI的毫米波雷达器件(MMIC)在配置啁啾参数方面提供了很大的灵活性，并且还允许在单个帧中进行多个啁啾配置。授时参数由数字授时引擎和内置无线电处理器精确控制，没有严重的实时软件干扰。本文档描述了啁啾参数的编程，并解释了确定这些参数值的各种系统考虑因素。

2 Chirp配置对系统参数的影响

在线性FMCW雷达中，发射(TX)信号为单音，其频率随时间线性变化。这种频率上的扫频通常被称为“啁啾”。一组这些啁啾形成一个“帧”，这可以用作雷达处理的观测窗口。啁啾斜坡的各种参数(如频率斜率、扫描带宽等)会影响系统性能。

图1描绘了单个啁啾和相关的时序参数。图2显示了由一系列啁啾和帧间时间组成的帧结构。这代表了“快速FMCW”调制，其中每个啁啾的持续时间通常为10μs。

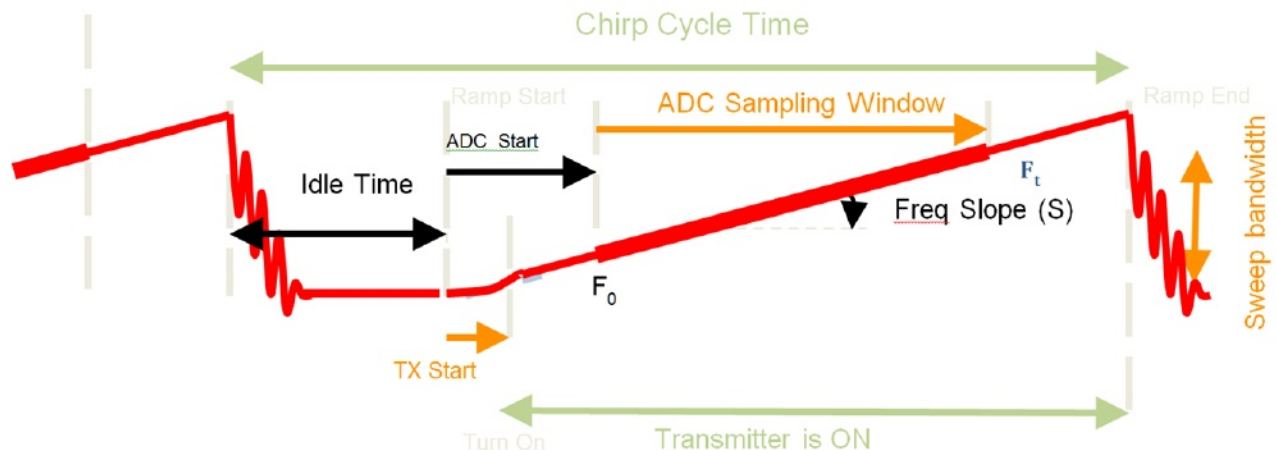


图1所示。典型的FMCW啁啾

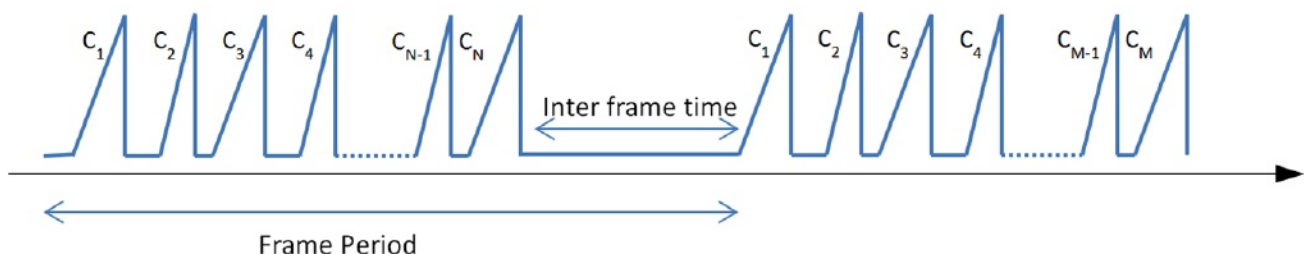


图2。典型框架结构

以下部分列出了在任何雷达应用中通常考虑的关键系统性能参数，以及啁啾配置如何影响它们中的每一个。

2.1 测量距离和距离分辨率

雷达传感器能够探测到物体的最大和最小距离是雷达传感器的一个重要参数。此外，距离分辨率(区分两个附近物体的能力)是另一个重要指标。

2.1.1 最大射程

在汽车自适应巡航控制(ACC)等应用中，能够看到远处物体(>150m)是很重要的。探测远距离目标可能受到接收信号的SNR或雷达设备支持的IF带宽的限制。

最大量程与IF带宽的关系如式1所示。TI公司的AWR2243雷达设备提供了20 mhz的大带宽，而AWR1243提供了15 mhz的带宽，允许更灵活的斜率，这间接有助于提高最大速度，稍后将看到。

$$\text{Range}_{\max} = \frac{\text{IF}_{\max} \times c}{2 \times S}$$

IF_{max} → 支持的最大IF带宽 c → 光速

S → 传输啁啾的斜率

请注意IF_{max}也取决于所使用的ADC采样频率(ADC_{sampling})。在复杂的1x采样模式下，IF带宽限制为0.9*(ADC_{sampling})。在复2x和实采样模式下，IF带宽限制为0.9*(ADC_{sampling})/2。TI公司雷达器件的最大ADC采样频率为45 MHz (AWR22xx)和37.5 MHz (AWR1xxx)。

限制最大范围的另一个方面是接收机接收到的信号的信噪比(SNR)。这取决于：

- 雷达设备的射频性能，如TX输出功率，RX噪声系数，以及啁啾参数，如啁啾持续时间和帧中的啁啾数量。
- 天线参数，如TX和RX天线增益在感兴趣的方向。
- 目标特性，如雷达横截面(RCS)。RCS测量的是物体反射回来的能量。这决定了雷达传感器对物体的探测程度。
- 检测算法检测目标所需的最小SNR。

$$\text{Range}_{\max} \text{ based on SNR} = 4 \sqrt{\frac{P_t G_{R_x} G_{T_x} c^2 \sigma N T_r}{f_c^2 (4\pi)^3 \times k T \times N F \times \text{SNR}_{\text{det}}}} \quad (2)$$

P_t → TX输出功率

G_{Rx}, G_{Tx} → RX和TX天线增益

σ → 对象的RCS

N → 啁啾数

T_r → 啁啾时间

NF → 接收机噪声系数

SNR_{det} → 算法检测一个物体所需的最小信噪比 k → 玻尔兹曼常数

T_{det} → 环境温度

2.1.2 距离分辨率

在许多应用中，重要的是能够将两个间隔很近的物体作为两个单独的物体来分辨，而不是将它们作为一个物体来检测。能够将两个物体作为独立物体检测到的最小距离被称为距离分辨率。这主要取决于雷达传感器所能提供的啁啾扫描带宽。扫描带宽越大，距离分辨率越好。TI的雷达设备支持4 GHz的扫描带宽，可以实现低至约4cm的距离分辨率。

$$\text{Range resolution} = \frac{c}{2B} \quad (3)$$

$c \rightarrow$ 光速

$B \rightarrow$ FMCW啁啾的扫描带宽

更好的距离分辨率也有助于检测非常近的物体，因此，提高了最小检测范围。

2.2 测量速度和速度分辨率

2.2.1 最大速度

除了距离之外，物体的相对速度也是我们感兴趣的另一个关键参数。快速FMCW调制雷达的最大可测速度取决于啁啾周期时间，即两个连续啁啾开始之间的时间差。这又取决于进行频率扫描的速度有多快，以及允许的最小啁啾间隔时间。

MMIC对频率的倾斜速度越快，最大无二义速度就越高。TI的MMIC可以实现100 MHz/ μ s的快速斜坡。此外，闭环锁相环设计用于支持非常快速的频率斜坡沉降。因此，VCO从斜坡频率的末端跳转到重新启动下一个斜坡所需的时间非常低，并且允许更小的空闲时间(低至2 μ sec)。关于最小空闲时间的计算，请参见第5节。

$$\text{Unambiguous max velocity} = \frac{\lambda}{4T_c}$$

$T_c \rightarrow$ 总啁啾时间，其中包括啁啾时间+空闲时间
 $c:1 \rightarrow$ 所用信号的波长

实际可测量的最大速度可以使用更高级的算法扩展到明确的最大速度之外。

2.2.2 速度分辨率

在像泊车辅助这样的应用程序中，你可能需要分离出速度差较小的物体，因此需要良好的速度分辨率。速度分辨率主要取决于传输帧的持续时间，也就是说，增加一帧中的啁啾数可以提高速度分辨率。

$$\text{Unambiguous max velocity} = \frac{\lambda}{2NT_c}$$

$N_c \rightarrow$ 一帧内的Chirp数

2.3 角度范围和分辨率

为了在二维空间中定位物体，物体的角度也需要与距离一起。在雷达系统中，通过使用多个以距离“d”隔开的接收器接收来自物体的反射信号来估计角度。连续到达每一个的信号

$$\text{接收机延迟} d \cdot \sin(\theta), \text{ 这个“延迟”导致相移。这个相移} \frac{2\pi d \sin \theta}{\lambda}$$

每个接收器之间用来估计物体的角度(θ)。

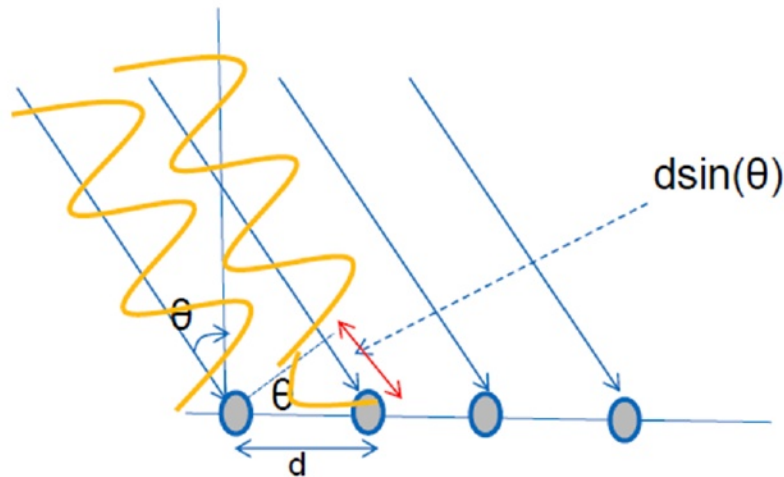


图3。角度估计基础

从MMIC角度可测量的明确角度视场取决于接收器之间的间距(d)。

$$\text{Max unambiguous angular range} = \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{2d}\right)$$

d→接收天线之间的间距<e:1>→波长

因此，对于最宽角度的视场，接收器天线的间距应为<s:1>/2，理论上提供±90°的观看范围。

除了天线间距，不同角度下的可测距离还取决于天线增益方向图。通常情况下，天线在一个角度会有一个峰值增益(大多是在0°，即直接面对天线的正面)，然后增益会随着角度的增加而减少。图4显示了一个示例天线方向图，其中90°角时的增益比0°角时的增益低> 15 dB。

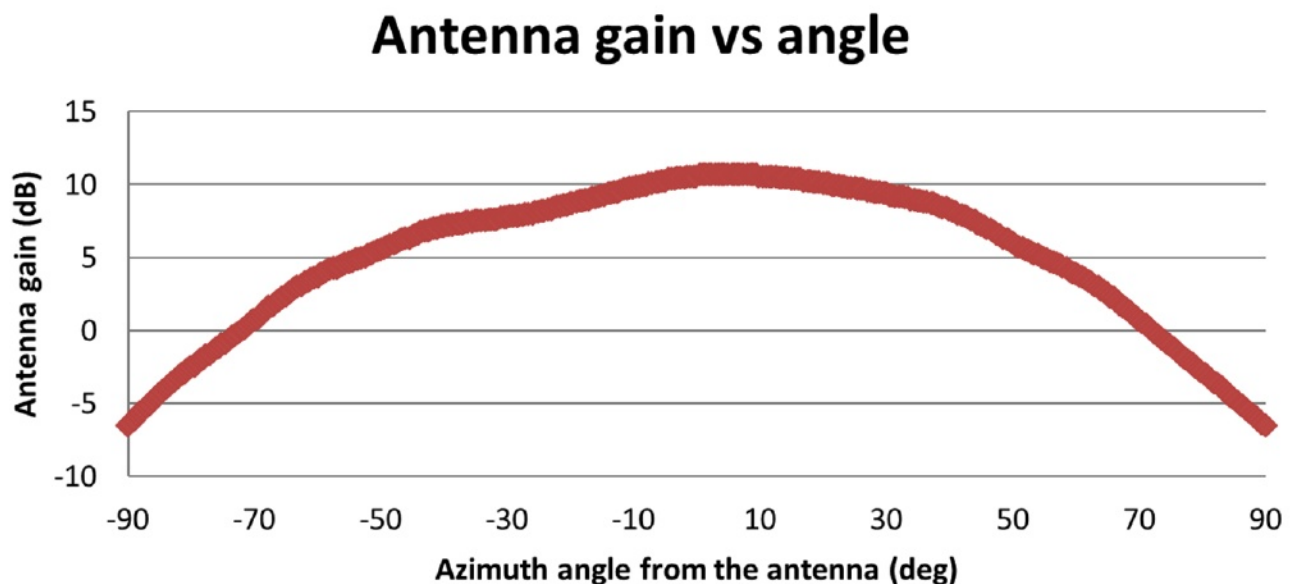


图4。天线增益图示例

2.3.1 角分辨率

除了角度视场之外，以近距离角度解析两个物体可能也很重要，即具有良好的角度分辨率。例如，在汽车雷达用例中，重要的是要在两个不同的车道上检测远处的两辆汽车，而不是将它们作为一辆汽车进行检测。一般来说，角度分辨率的测量取决于可用的接收天线的数量。天线数量越多，分辨率越好。

$$\text{Angular resolution (deg)} = \frac{\lambda}{d \times N_{RX} \cos \theta} \times \frac{180}{\pi} \quad (7)$$

$\theta_c \rightarrow$ 兴趣角，即物体出现的角度 $N_{RX} \rightarrow$ 接收天线数量

使用多个发射机，可以进一步提高角度分辨率。有关详细信息，请参见[MIMO雷达](#)。如果有多个发射机可用，那么发射天线可以这样间隔，每个发射机与一组接收器配对在一起，形成一个虚拟的接收阵列。例如，如果有3个TX和4个RX，那么MIMO雷达系统可以产生12个虚拟通道的等效角分辨率。

$$\text{Angular resolution} = \frac{\lambda}{d \times N_{RX} N_{TX} \cos \theta} \times \frac{180}{\pi} \quad (8)$$

$N_{TX} \rightarrow$ 发射天线数量

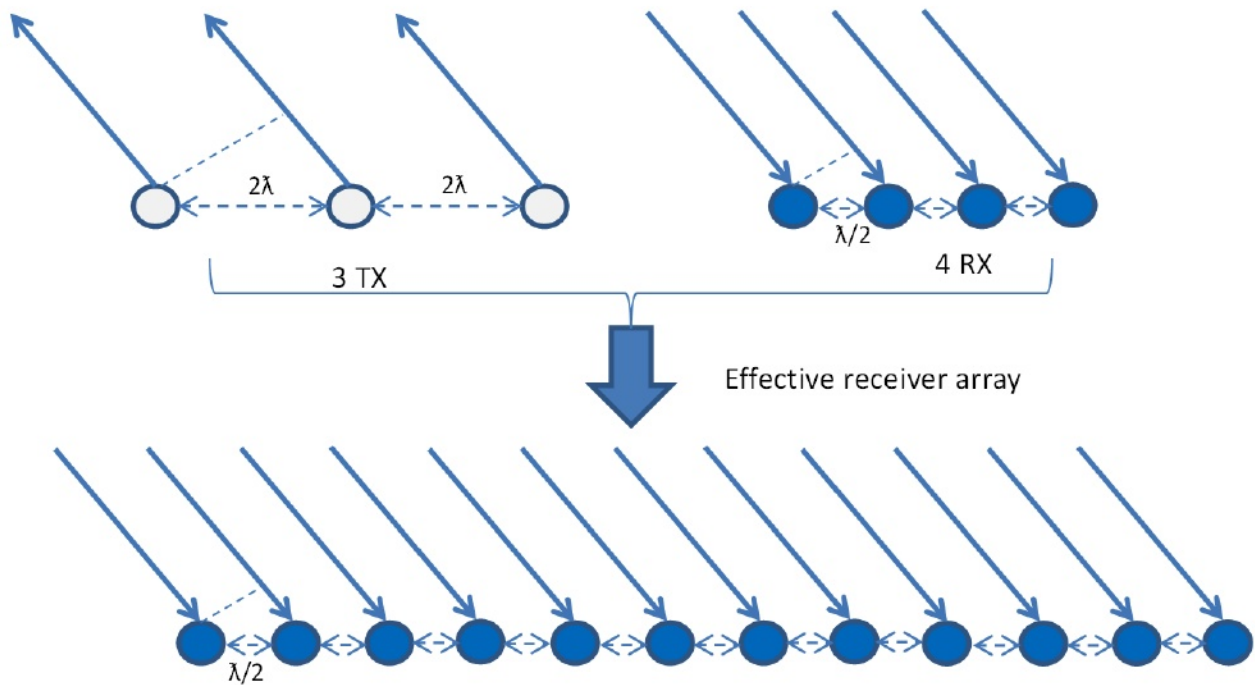


图5. MIMO雷达的有效接收信道

3 常见应用的Chirp配置

雷达在汽车环境中最常见的应用包括短距离雷达(通常安装在角落)和中远程雷达(通常面向前方)。

本节展示了22m USRR、45m SRR、125m MRR和225m LRR用例的啁啾配置。需要注意的是，这些只是一般的示例配置，有可能根据客户的特定系统性能要求更改参数。适用于TI各种毫米波雷达器件的啁啾样例配置和用例在特定于器件的概述白皮书中显示。

表1. 典型应用的啁啾配置示例

Parameter	Units	LRR	MRR	SRR	USRR
Max unambiguous range	m	225	125	45	22.5
Sweep bandwidth	MHz	300	540	750	1500
Ramp slope	MHz/us	10	12	15	30
Inter-chirp duration	us	8	10	12	50
Number of chirps	-	256	128	128	128
Range resolution	m	0.50	0.28	0.20	0.1
Chirp duration	us	30	45	50	50
Max unambiguous relative velocity ⁽¹⁾	kmph	92.28	63.75	56.56	35.3
Max beat frequency	MHz	15	10	4.5	4.5
ADC sampling rate (complex)	Msp/s	16.67	11.11	5.00	5.00
Number of samples per chirp		500	500	250	250
Range FFT size	-	512	512	256	256
Frame time (total)	ms	9.728	7.04	7.94	12.8
Frame time (active)	ms	7.68	5.76	6.4	6.4
Radar data memory required	KB	2048	1024	512	512

(1)通过使用更高级的算法，可以将最大速度增加到最大无二义速度之外。

4 可配置的啁啾RAM和啁啾配置文件

TI雷达设备允许您通过定义啁啾配置文件来控制帧中的啁啾参数，并通过啁啾配置RAM在这些配置文件之上进行变化。啁啾配置文件是基本的啁啾时序模板，可用于定义在一个或多个定义参数(启动频率，斜率，空闲时间等)上具有显著差异的啁啾变体。雷达设备允许您对四种不同的啁啾配置文件进行编程。此外，多达512个独特的啁啾可以预编程并存储在啁啾配置RAM中。RAM中的每个啁啾定义条目可以属于四个配置文件中的一个，并且可以通过某些参数值的微小抖动与它们的父配置文件有所不同。然后，在啁啾配置RAM中，一个帧将由从开始索引到结束索引的啁啾序列组成，该序列可以循环多达255次。

每个配置文件可控制的参数是:

- 启动频率
- 频率斜率
- 空闲时间
- ADC开始时间
- 坡道结束时间

啁啾配置RAM中的每个啁啾都可以具有小的抖动值，这些值被添加到配置文件RAM中定义的配置文件参数中。这些都是：

- 启动频率变量
- 频率斜率变量
- 空闲时间变量
- ADC开始时间变量

啁啾RAM和概要RAM如图6所示。

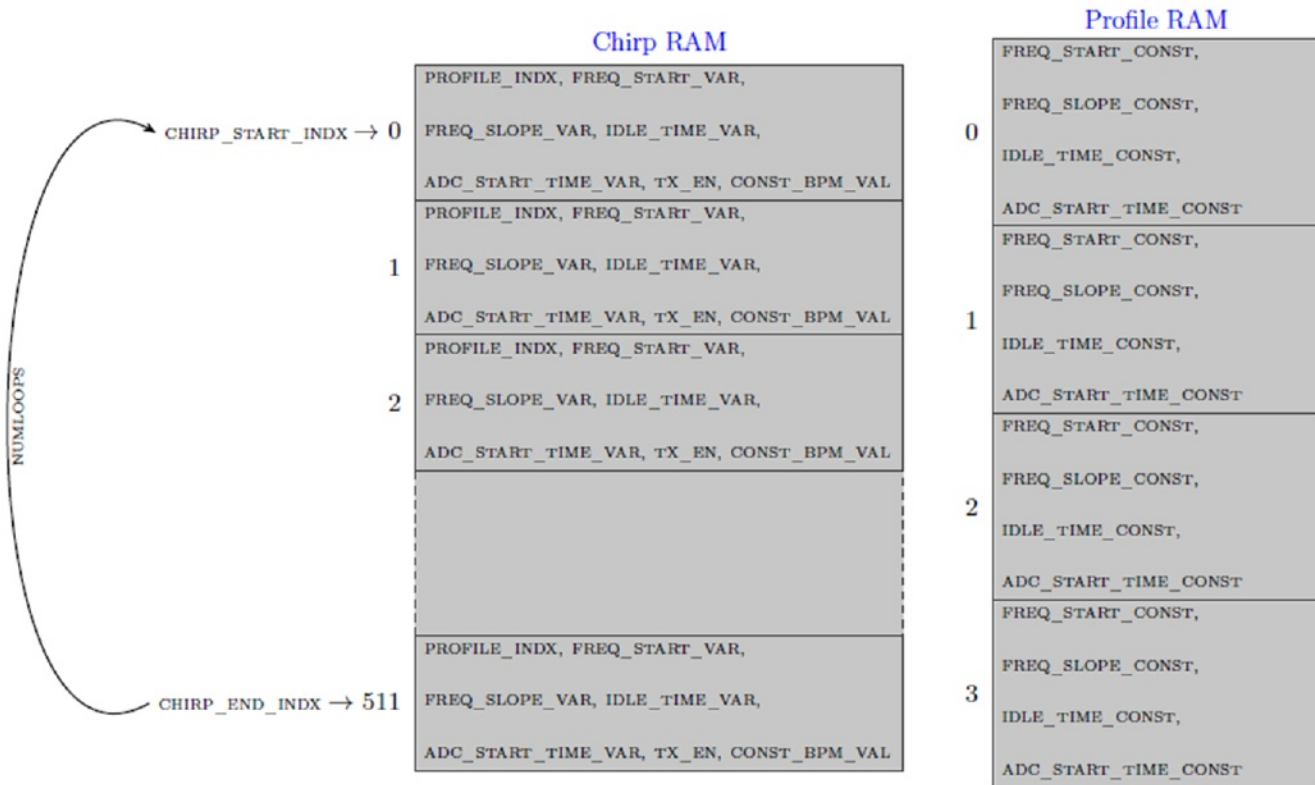


图6。啁啾和配置文件RAM内存分配

5 啁啾定时参数

表2提供了控制啁啾定时的参数列表。它还显示了这些参数之间的关系，以形成啁啾。

表2。啁啾时序参数

Sl. No.	Parameter name	Description
1	Idle time	The time between the end of previous chirp and start of next chirp.
2	TX start time	The time from the start of the ramp at which transmitter is turned on.
3	ADC start time	The time from the start of the ramp when the ADC starts sampling the data.
4	Ramp end time	The time from the start of the ramp until the chirp continues ramping. After this time the synthesizer frequency is reset to the start frequency of the next chirp.

以下各节列出了确定这些参数的值时需要考虑的系统考虑因素。每个参数的实际数字可以使用Radar Studio应用程序中的啁啾时序参数配置计算器实用程序推导，该实用程序作为DFP包的一部分提供。

5.1 空闲时间

所需的最小空闲时间主要由合成器坡降稳定时间决定，这是坡降带宽的函数。一些典型带宽的合成器缓降稳定时间列于表3中。

表3. 不同调制带宽的典型合成器斜坡下降时间

Ramp Bandwidth	Synthesizer Ramp Down Time (μ s)
< 1 GHz	2
> 1 GHz and < 2 GHz	3.5
> 2 GHz and < 3 GHz	5
> 3 GHz	7

对于ADC采样率为5 Msps或更高的情况，表3可直接用于设置最小空闲时间。然而，对于低采样率(< 5 Msps)，在编程最小空闲时间时还需要记住另一个约束。这来自于 $\sigma - \delta$ ADC抽取链中的数字管道延迟。因此，最小空闲时间可能需要略高于表3所示的值。chirp参数配置计算器实用程序(Radar Studio工具的一部分，www.ti.com/tool/mmwave-dfp)也会考虑到这一限制，并提供总体推荐的空闲时间。

5.2 ADC开始时间

ADC的启动时间对正确的芯片功能没有硬性的最低要求。但是，该参数的值与“啁啾开始”信号包络沉降的质量之间存在权衡，取决于以下因素：

- 合成器PLL的斜坡沉降时间，这是斜坡斜率的函数
- HPF阶跃响应沉降，这是HPF角频率的函数
- IF/DFE LPF稳定时间，它是DFE输出模式和采样率的函数。

啁啾时序参数配置计算器实用程序在计算推荐值时考虑了这些方面。

用户可能还需要考虑其他因素，例如基于最终用例的目标反射的最大往返延迟，该延迟可能会添加到实用程序推荐的ADC启动时间中。客户也可以选择使用比推荐值更小的值，通过权衡沉降质量来减少总啁啾间隙。

5.3 匝道结束时间

斜坡结束时间是(a) ADC开始时间，(b) ADC采样时间和(c)斜坡结束时多余的斜坡时间的总和。对于多余的斜坡时间没有硬性要求。然而，在多余的斜坡量和“啁啾结束”信号包络沉降性能之间再次存在权衡。决定所需的过量斜坡的主要因素是IF/DFE滤波延迟，这也是DFE输出模式和采样率的函数。

啁啾时序参数配置计算器实用程序在达到该参数的推荐值时考虑了这些方面。

表4. 典型的IF/DFE滤波延迟作为DFE模式和输出采样率的函数

DFE Mode	DFE Sampling Rate (Msps)	IF/DFE Filtering Latencies (μs)
Complex1x	16.7	0.3
	10	0.5
	5	1.0
Real/Complex2x	33.3	0.1
	16.7	0.2
	10	0.4
	5	0.8

5.4 使用计算器计时示例

毫米波工作室工具(DFP包的一部分:(www.ti.com/tool/mmwave-dfp))中提供的Ramp时序计算器根据用户配置(斜率、ADC采样、采样率)提供正确的时序参数值建议。这些建议是基于TI雷达设备的最低要求。

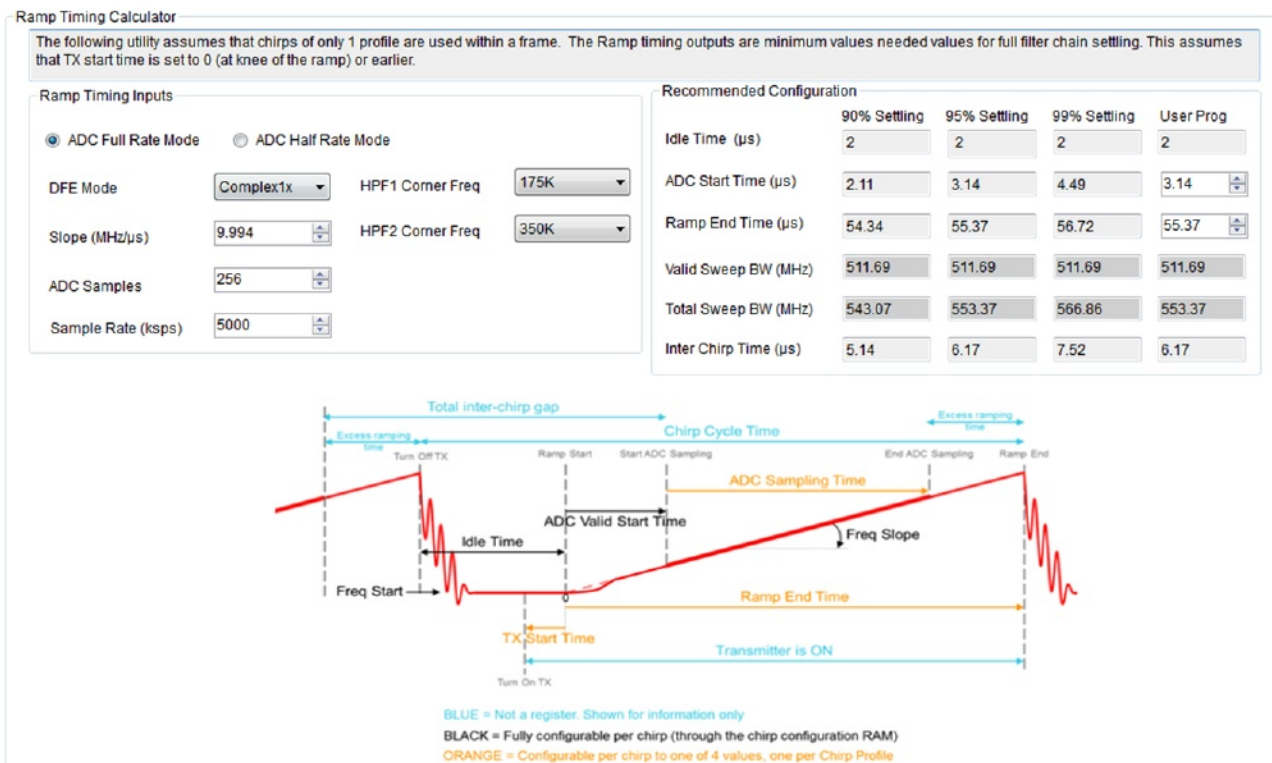


图7. 斜坡计时计算器的示例使用

根据具体用例，您可能需要进一步考虑这些。这些考虑需要单独考虑。

例如，如果在CSI或LVDS路径上设置原始ADC数据，则空闲时间设置需要确保在下一个啁啾数据可用之前完成CSI/LVDS接口上的传输。此数据传输的可用时间为=“坡道结束时间”+“空闲时间”。在CSI的情况下，由于MIPI协议的开销时间也需要考虑在内。

6 Advanced Chirp Configurations

6.1 多模雷达应用

正如您所看到的，根据所需的应用，需要设置不同的啁啾配置。但是，如果我们需要同时使用单个雷达设备支持多种模式，例如短距离和中距离，该怎么办？TI雷达的先进框架配置允许在单个框架中具有多个啁啾配置的大灵活性。该帧可以使用一系列“子帧”构成，其中每个子帧代表不同的雷达模式。rlSetAdvFrameConfig API帮助启用这种配置。具体操作请参见DFP包中的“毫米波雷达接口控制文档” (www.ti.com/tool/mmwave-dfp)。

为了在一帧内提供最大的啁啾灵活性，高级帧配置API提供了将一帧分解为不同的子帧(最多4个)的能力。每个子帧由多个啁啾爆发(最多512个爆发)组成。每个突发可以由512个独特的啁啾组成，这些啁啾与4个配置文件中的一个相关联，并且可以对开始啁啾索引进行编程，使其与以前的突发具有固定的偏移量。子帧中的一组突发可以在软件中进一步循环多达64次。下图是子帧如何形成的示例。

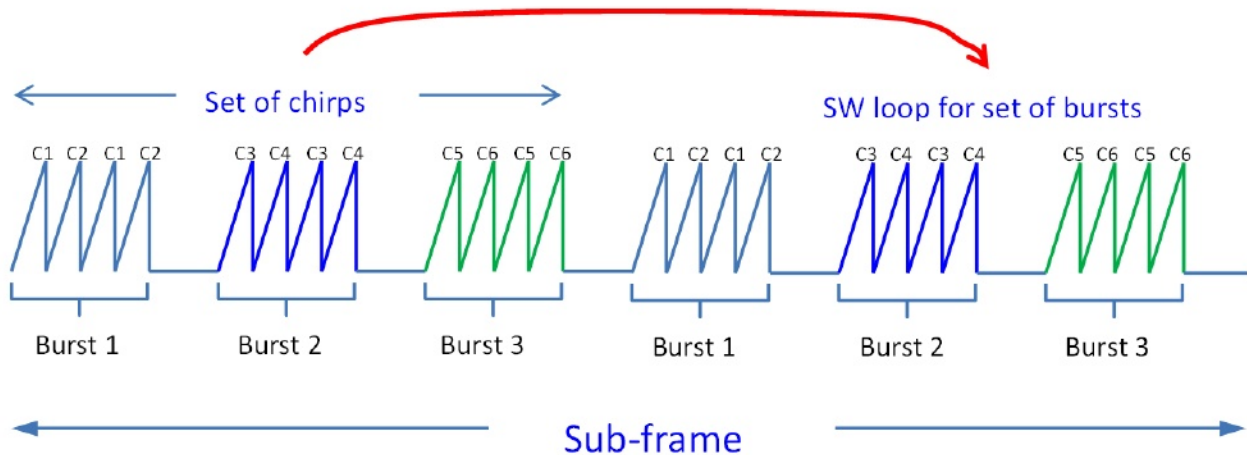


图8. 显示三个突发循环两次的子帧结构(起始索引偏移量为2)

帧由最多四个这样的子帧组成，每个子帧可以有一组不同的啁啾。不同的啁啾也可以使用不同的发射机(可能有不同的天线配置)。图9显示了可以形成帧的不同啁啾轮廓和子帧的示例。

高级帧的时序要求如下:突发间时间 $\geq 50\mu\text{sec}$ ，子帧间时间 $\geq 100\mu\text{sec}$ ，帧间时间 $\geq 200\mu\text{sec}$ 。

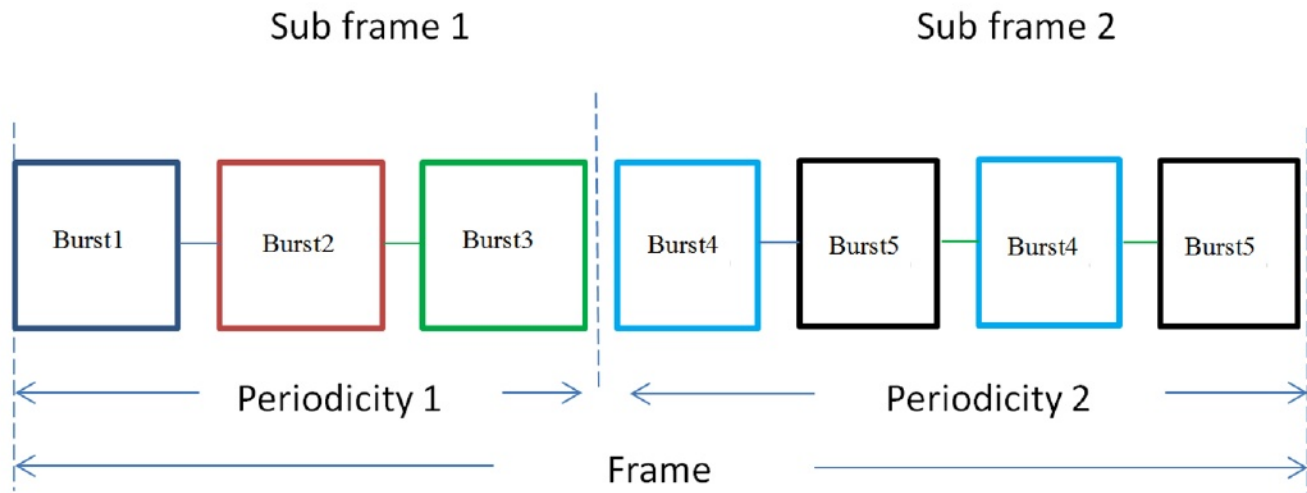


图9。两个子帧的高级帧配置示例

6.2 单个发射机二进制相位调制(BPM)

TI公司的雷达设备允许每个发射机输出由 0° 或 180° 的相位调制。这允许通过使用相互不相关的二进制代码同时使用多个发射机。因此，提高了有效信噪比。

阶段配置由“`rlSetBpmChirpConfig`” API完成。有关BPM和MIMO雷达的详细信息，请参见 [MIMO雷达](#)。

7 基本啁啾配置编程序列

TI的毫米波链路api为MMIC提供了简单的接口，并根据应用和需求提供了充分的灵活性来配置所有啁啾参数。每个api的详细信息和参数说明可在“毫米波雷达接口控制文档:www.ti.com/tool/mmwave-dfp”中获得。图10显示了配置啁啾和帧需要遵循的典型顺序。

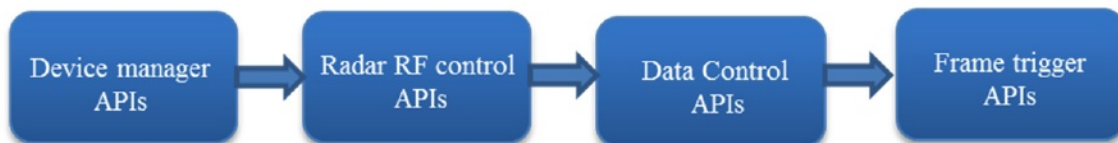


图10。雷达配置顺序

7.1 设备管理器api

这些api用于上电和初始化传感器:

- *rlDevicePowerOn*

这个函数初始化驱动程序, 并为驱动程序做必要的资源分配。它通过创建必要的操作系统服务(如信号量、互斥锁、队列等)来初始化主机协议驱动程序。它还使雷达设备(在级联的情况下有多个设备)脱离复位, 并与这些设备打开通信通道(SPI, Mailbox等)。

- *DeviceFileDownload*

该函数从主机下载二进制文件到雷达设备的内部RAM中。该文件可以是固件补丁文件、应用程序代码、校准数据或配置数据。

- *rlDeviceRfStart*

该函数初始化雷达设备中的RF(BIST)子系统。函数立即返回, 异步事件(RL_EVENT_AR_DEVICE_START_COMPLETE)指示RF初始化完成。用户应用程序在调用任何雷达传感器控制api之前应该等待此事件。

7.2 雷达RF控制api

这些api用于配置RF参数、啁啾配置文件和帧配置。

- *rlSetChannelConfig*

这个API允许配置要使用的TX天线数量(3个)和RX天线数量(4个)。它还允许选择他们是在独立模式还是级联模式下使用传感器。

- *rlSetAdcOutConfig*

这个API允许配置每个样本的位数(12/14/16)。它还允许选择ADC数据是否应该仅为实数, 复-1x或复-2x。

- *rlSetLowPowerModeConfig*

该API允许设置低功耗ADC模式以节省功耗。在这种模式下, 最大ADC采样率是有限的。

- *rlSetProfileConfig*

这个API允许配置啁啾“配置文件”, 它为啁啾定义了一个模板。这些配置包括啁啾起始频率、空闲时间、ADC起始时间、啁啾斜率、啁啾持续时间、啁啾中的TX功率电平、每个啁啾的ADC采样数、ADC采样率、高通滤波器(HPF)截止频率和RX增益设置。最多可以定义四个配置文件, 在特定的帧中(最多可以有512个唯一的啁啾), 帧中的啁啾可以属于这四个配置文件中的任何一个。由于单个配置文件可能无法满足传感器的所有预期用例, 因此具有多个配置文件的灵活性允许在多个场景/用例中使用单个传感器。

- *rlSetChirpConfig*

一旦配置文件被定义, 每个独特的啁啾可以关联到这些配置文件之一。除此之外, API还允许在一些重要参数(如启动频率, 空闲时间和ADC启动时间)中有限的啁啾变化(超出配置文件)。API还允许选择在特定啁啾中使用的发射机。

- *rlSetFrameConfig*

这个API允许选择形成帧的啁啾序列, 需要传输的帧数和帧的周期性。周期性将定义帧间时间(周期性-chirptime), 因此, 传输的占空比。帧可以由软件API触发(通过rlSensorStart API)或使用SYNC_IN信号外部触发。在HW触发选项的情况下, 可以从SYNC_IN边缘设置可编程延迟。

7.3 雷达数据控制api

在啁啾期间捕获的ADC数据通过高速调试接口或CSI传输出设备。数据控制api允许配置需要传输的ADC数据和高速接口(LVDS/CSI)配置。随着ADC数据，与啁啾质量和啁啾参数(分别称为CQ(啁啾质量)和CP(啁啾参数))相关的一些附加信息也可以传递出去。LVDS/CSI配置、车道配置等等都可以使用这些api来完成。有关这些api的详细介绍和参数说明，请参见“毫米波雷达接口控制文档”(DFP包的一部分:www.ti.com/tool/mmwave-dfp)。

7.4 帧触发API

一旦配置了啁啾和帧，它们可以通过软件API或使用数字SYNC_IN信号触发硬件触发。触发帧的软件API是rlSensorStart。

8 引用

[MIMO雷达](#)

修订历史

注意:以前版本的页码可能与当前版本的页码不同。

变化从原始版本(2017年5月)	页面
. 最大射程更新部分	3.

I重要通知和免责声明

TI提供技术和可靠性数据(包括数据表)、设计资源(包括参考设计)、应用程序或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源,并“按原样”提供所有错误,并不承担所有明示和暗示的保证,包括但不限于任何关于适销性、适用于特定目的或不侵犯第三方知识产权的暗示保证。

这些资源是为熟练的开发人员设计的TI产品。您全权负责(1)为您的应用选择合适的TI产品,(2)设计、验证和测试您的应用,以及(3)确保您的应用符合适用的标准,以及任何其他安全、安保、法规或其他要求。

这些资源如有变更,恕不另行通知。TI允许您仅将这些资源用于开发使用资源中描述的TI产品的应用程序。禁止以其他方式复制和展示这些资源。不授予任何其他TI知识产权或任何第三方知识产权许可。对于因您使用这些资源而产生的任何索赔、损害、成本、损失和责任,TI不承担任何责任,您将完全赔偿TI及其代表。

TI的产品是根据TI的[销售](#)条款或其他适用[条款](#)提供的,这些条款可以在[ti.com](#)上找到,也可以与此类TI产品一起提供。TI对这些资源的提供不会扩大或以其他方式改变TI对TI产品的适用保证或保证免责声明。

TI反对并拒绝您可能提出的任何附加或不同的条款。 的

通讯地址:Texas Instruments, 邮政信箱655303,Dallas, Texas 75265版权所有©
2022,Texas Instruments Incorporated