



# FSK雷达技术分享交流

汇报人：刘楚君（雷达系统部）

[www.phosense-tech.com](http://www.phosense-tech.com)

- 1 FSK雷达简介
- 2 FSK雷达典型应用
- 3 FSK雷达典型产品介绍
- 4 FSK雷达关键技术





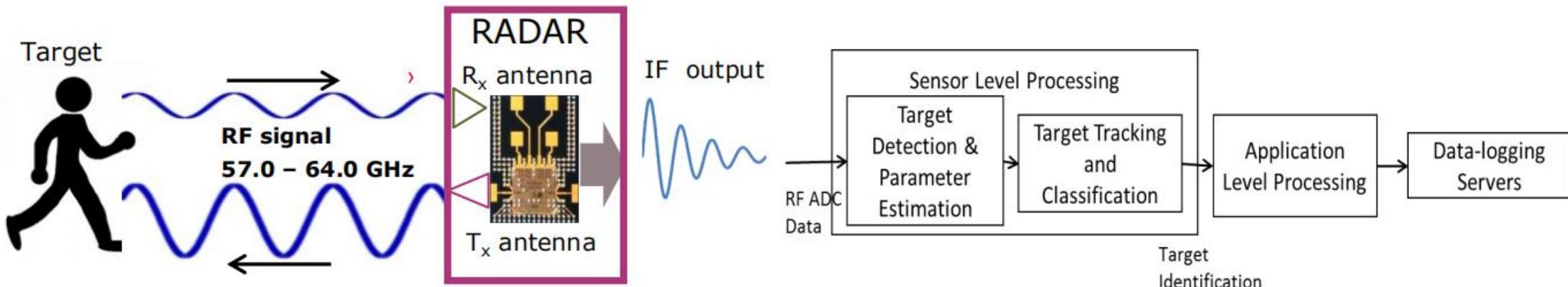
# PART.1

FSK雷达简介

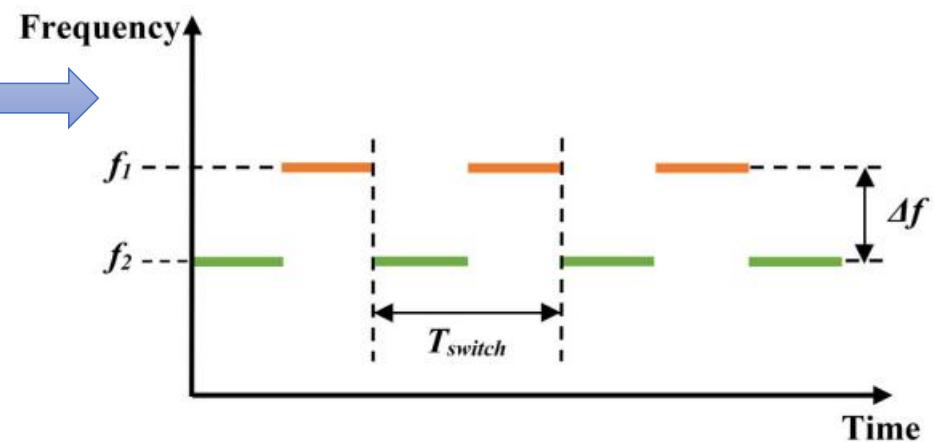
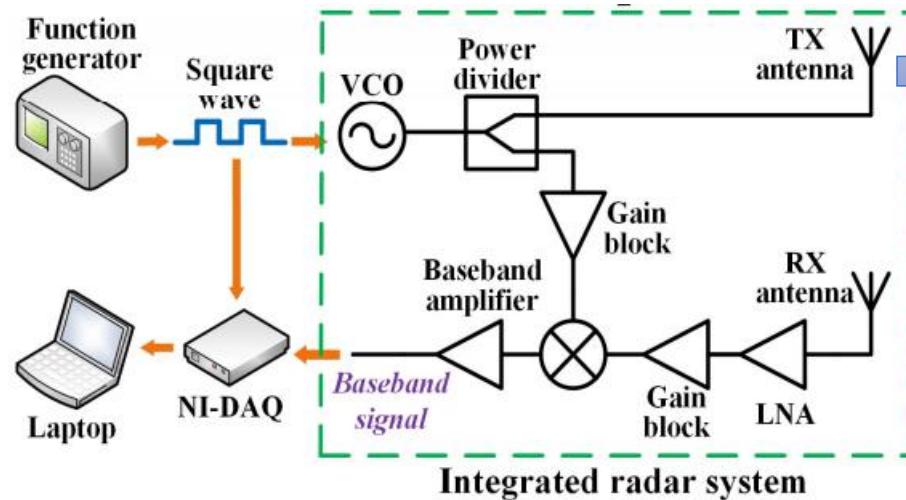


# FSK雷达简介

- 雷达模组解决方案通用架构



- FSK(Frequency-shift keying)雷达系统原型





# FSK雷达简介



- 测距原理

发射信号:  $T_k(t) = \text{Re}\{\exp[j(2\pi f_k t + \varphi_{o,k}(t))]\}$

接收信号: 
$$\begin{aligned} R_k(t) &\approx \text{Re} \left\{ \exp \left[ j \left( 2\pi \left( f_k \pm \frac{2vf_k}{c} \right) t - \frac{4\pi R_0}{\lambda_k} \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. + \varphi_{o,k} \left( t - \frac{2R_0}{c} \right) - \varphi_{r,k} \right) \right] \right\} \\ &= \text{Re} \left\{ \exp \left[ j \left( 2\pi (f_k \pm f_{d,k}) t - \frac{4\pi R_0}{\lambda_k} \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. + \varphi_{o,k} \left( t - \frac{2R_0}{c} \right) - \varphi_{r,k} \right) \right] \right\} \end{aligned}$$

基带信号:  $B_k(t) = \exp \left[ j \left( \mp 2\pi f_{d,k} t + \frac{4\pi R_0}{\lambda_k} + \varphi_k \right) \right]$

两基带信号相位差:  $\Delta\varphi(t) = \frac{4\pi R_0}{\lambda_2} - \frac{4\pi R_0}{\lambda_1}.$

距离估计值:  $R_0 = \frac{c\Delta\varphi(t)}{4\pi\Delta f}.$

$\varphi_{o,k}(t)$  表示振荡器相位噪声;

$\varphi_{r,k}$  表示接收电路引入相位延时;

$\varphi_k = \varphi_{o,k}(t) - \varphi_{o,k}(t - 2R_0/c)$

表示电路中累积的总剩余相位。

由于FSK的两载频非常接近, 所以  $\varphi_{r,k}$  之间的差值非常小可以忽略不计;

根据距离相关理论, 总剩余相位与基带信号中的其他两项相比可以忽略不计;

两载频之间的频差与载频相比非常小, 所以两基带信号的多普勒频率可以认为相同。



# FSK雷达简介



- FSK雷达特点：

- FSK调制只能探测移动目标；
- FSK可以探测不同速度的多个目标；
- FSK调制测距精度取决于后端信号处理，与雷达传感器本身的调制带宽无关；
- FSK调制具有调制简单、不受线性/非线性问题影响；
- VCO信号产生过程较为简单，但采样和相位测量过程比较复杂；
- 频谱利用率高，对系统部件的操作带宽要求低，对其他系统的干扰概率低；
- FSK调制具有较好的信噪比，不易受到周围背景杂波的影响，检测距离较长。



# PART.2

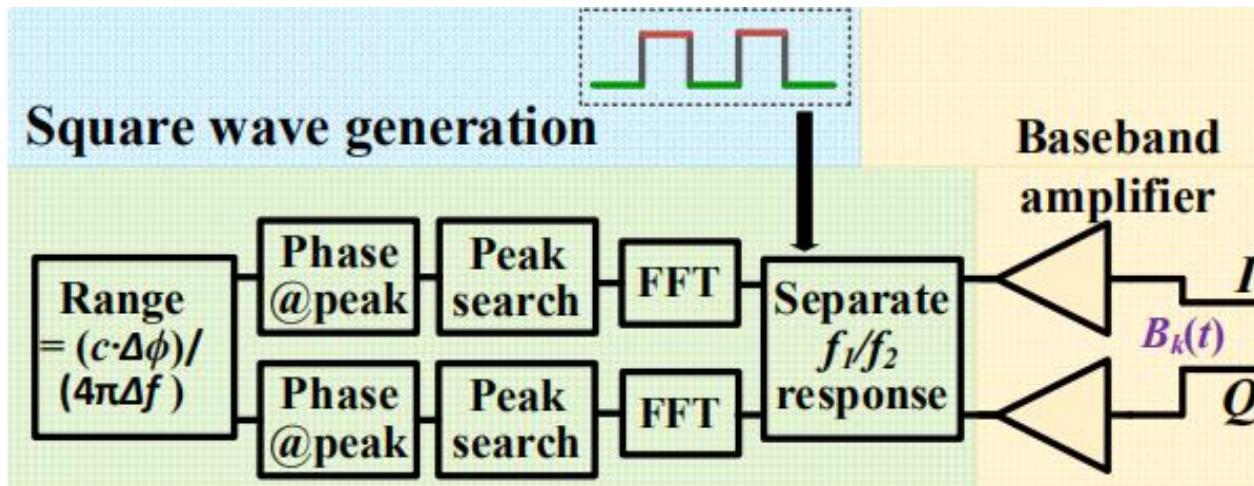
FSK雷达典型应用



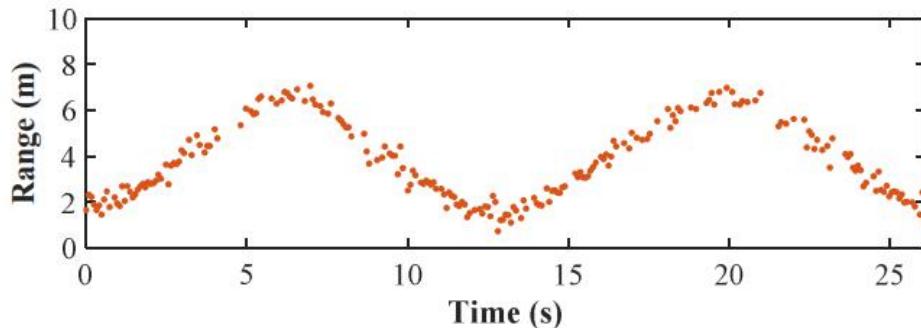
# FSK雷达典型应用

## ● 距离跟踪

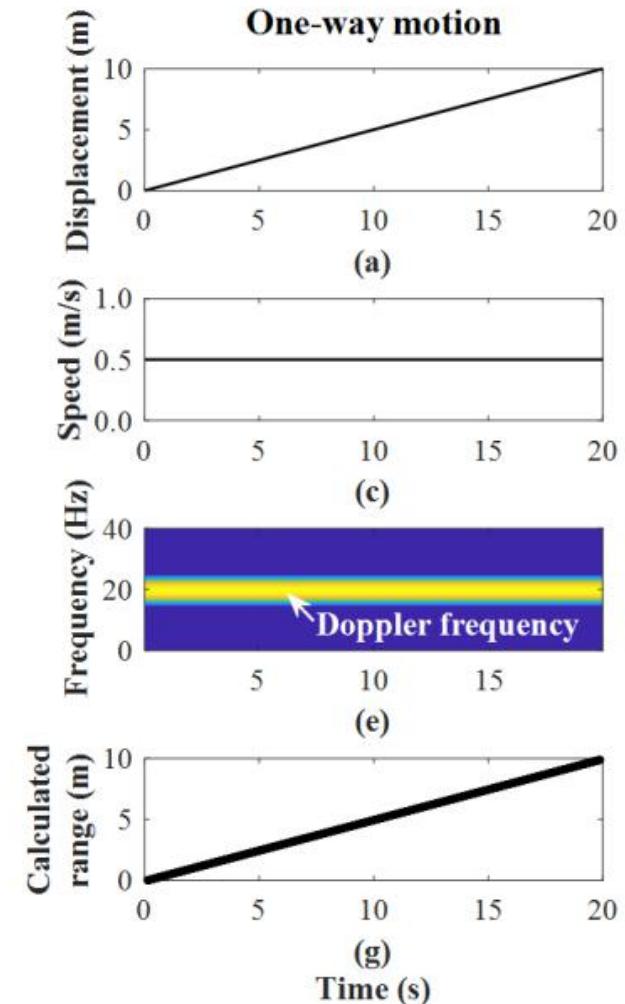
- 跟踪算法流程



- 实测结果



- 仿真结果

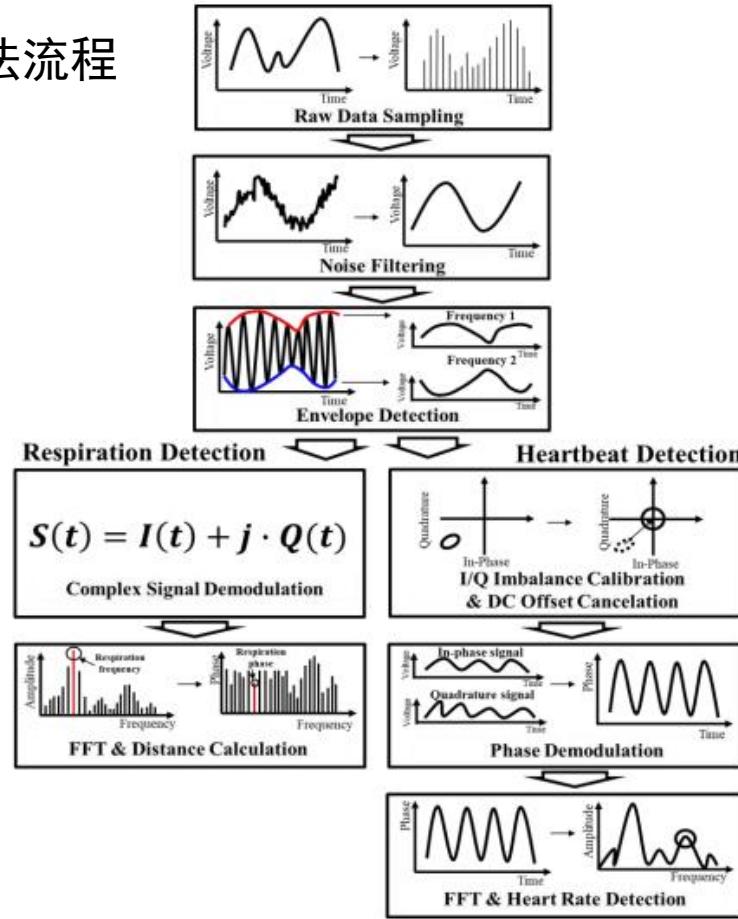




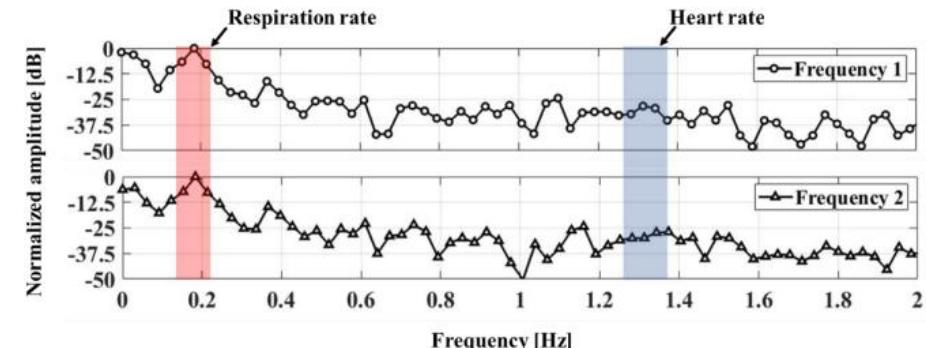
# FSK雷达典型应用

## ● 生命体征信息提取

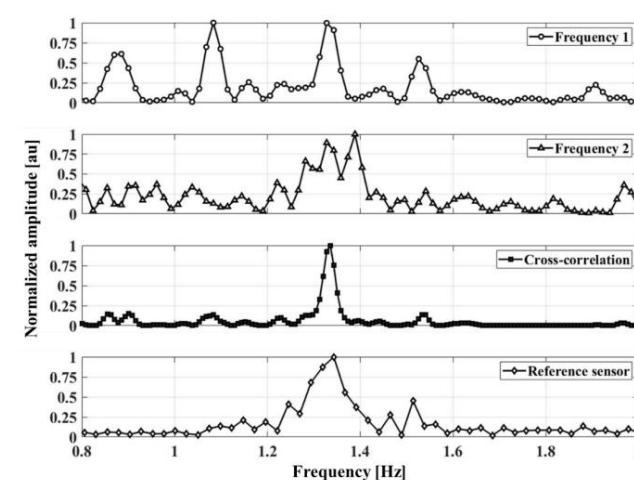
### • 算法流程



### • 呼吸信息提取结果



### • 心跳信息提取结果





# FSK雷达典型应用

## ● 基于生命体征信号的定位

- 算法原理

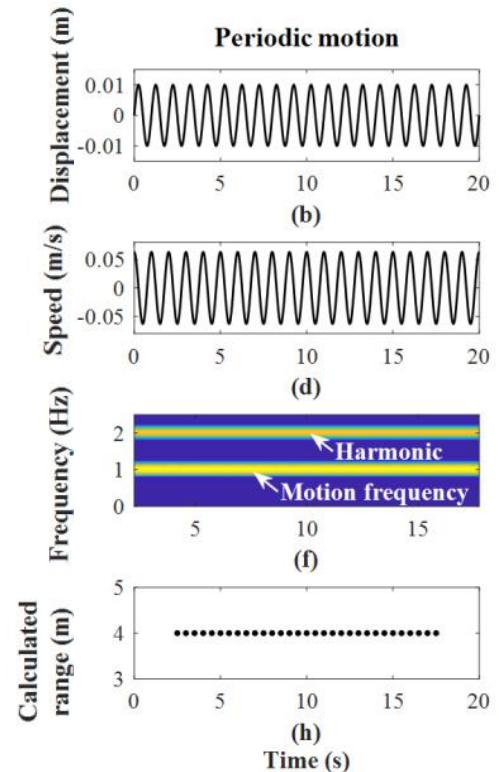
$$\text{接收信号: } R_k(t) \approx \operatorname{Re} \left\{ \exp \left[ j \left( 2\pi f_k t - \frac{4\pi x(t)}{\lambda_k} - \frac{4\pi D_0}{\lambda_k} + \varphi_k \right) \right] \right\}$$

$$\begin{aligned}\text{基带信号: } B_k(t) &= \exp \left[ j \left( \frac{4\pi x(t)}{\lambda_k} + \frac{4\pi D_0}{\lambda_k} + \varphi_k \right) \right] \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n \left( \frac{4\pi m}{\lambda_k} \right) \exp \left[ j \left( n\omega_0 t + \frac{4\pi D_0}{\lambda_k} + \varphi_k \right) \right]\end{aligned}$$

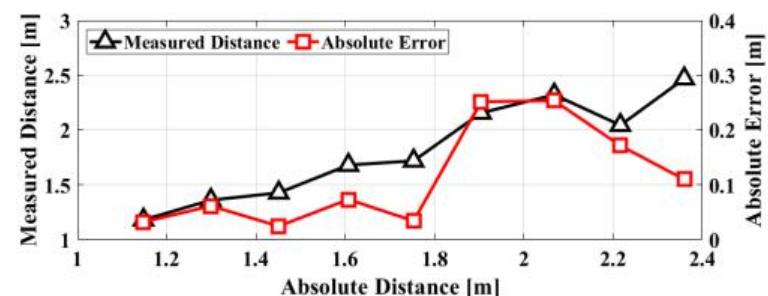
$$\text{相位差: } \Delta\varphi(t) = \frac{4\pi D_0}{\lambda_2} - \frac{4\pi D_0}{\lambda_1}.$$

$$\text{距离估算: } D_0 = \frac{c \Delta\varphi(t)}{4\pi \Delta f}.$$

- 仿真结果



- 实测结果



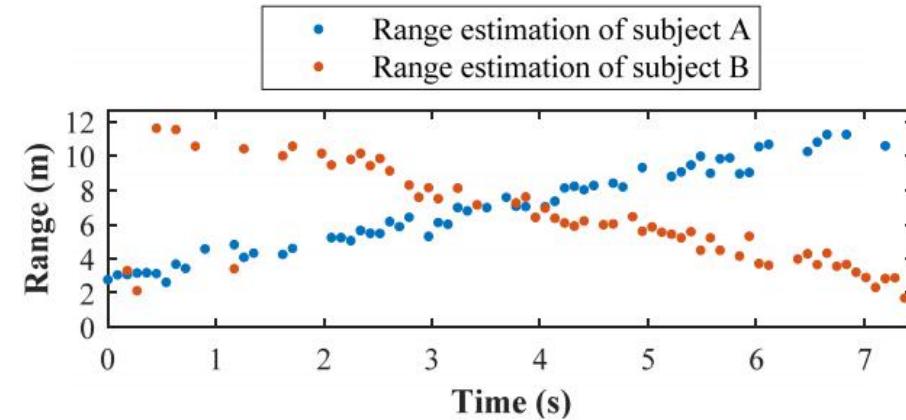


## ● 多人跟踪

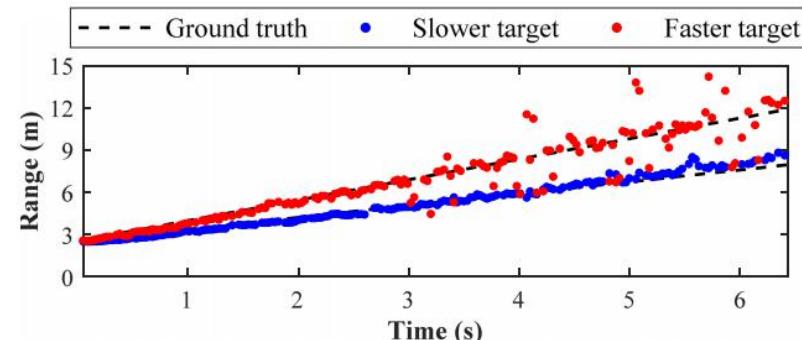
- 工作原理

若多人运动时，对应的多普勒频率在频域中可分辨，则可提取每个人多普勒频点对应的相位差信息，根据距离估算公式实现多人的跟踪。

- 两人相向运动实测结果



- 两人同向运动实测结果





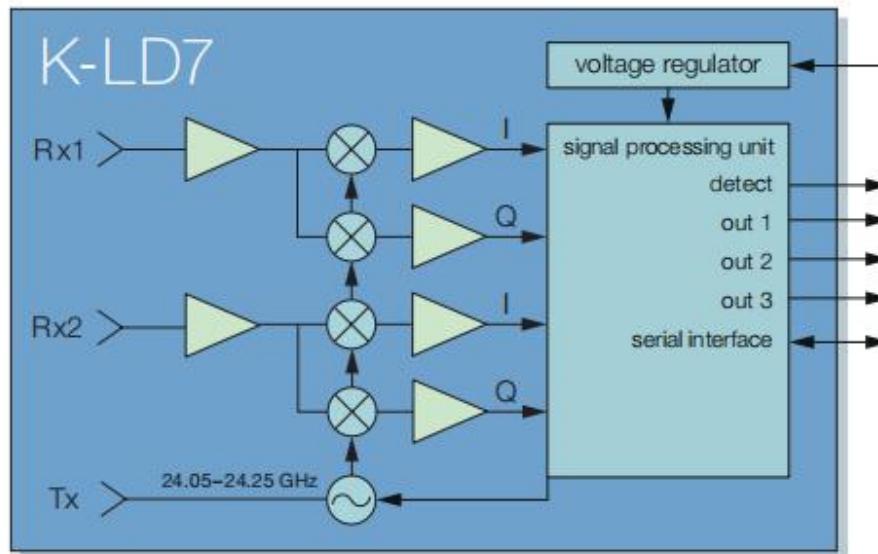
# PART.3

**FSK雷达典型产品介绍**



## ● KLD7数字雷达

- 组成框图

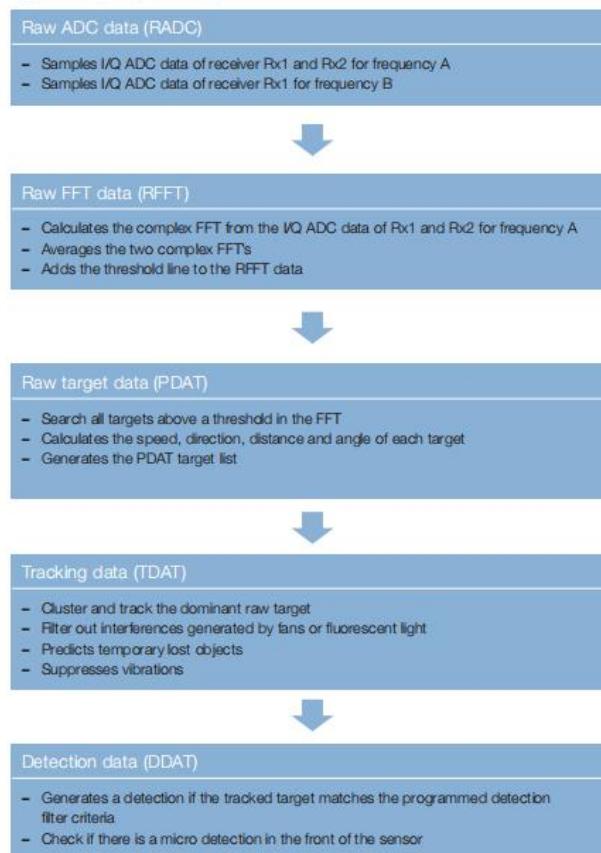


- 产品特征
  - 小型、低成本数字式24ghz雷达运动检测器
  - 测量运动物体的速度、方向、距离和角度
  - 低电流消耗
  - 典型探测距离:人员15米/车辆30米
  - 目标列表输出通过串行接口
  - 集成FFT信号处理与跟踪
  - 4个可配置数字输出
  - 电源范围:3.2 V ~ 5.5 V
  - 3×4贴片天线, 波束孔径80° /34°



## ● KLD7数字雷达

### • 信号处理流程



### • 应用场景

- 距离触发的移动检测应用
- 简单的手势识别
- 室内和室外照明控制应用
- 行人计数
- 交通计数

### • 典型参数设置

**Table 3: Distance range settings**

Max. range [m]	Range resolution [cm]
5	5
10	10
30	30
100	100

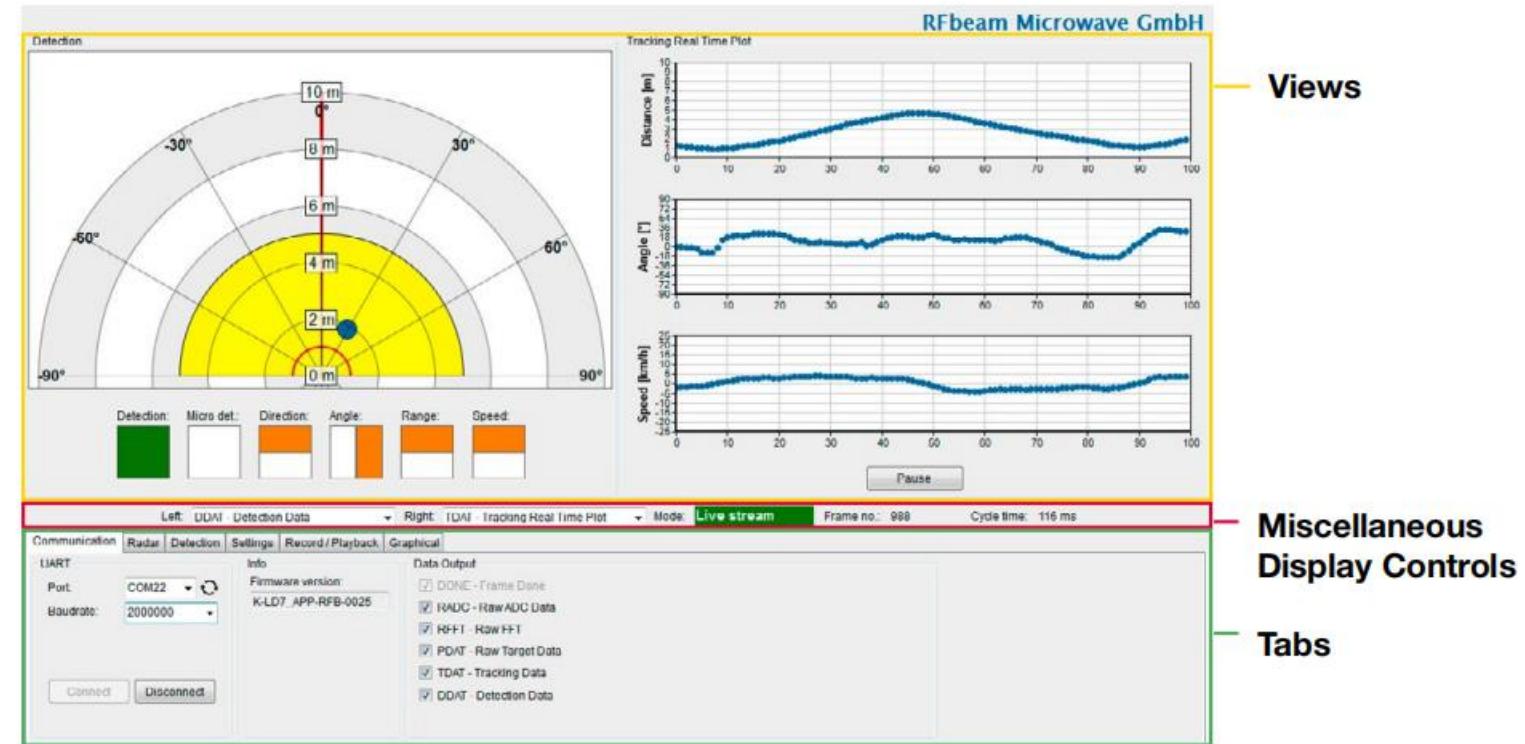
**Table 4: Speed range settings**

Max. speed [km/h]	Speed resolution [km/h]	Typ. frame duration [ms]	Typ. Supply current [mA]
12.5	0.1	229	23
25	0.2	114	27
50	0.4	57	34
100	0.8	29	48



## ● KLD7数字雷达

- 控制界面
- ✓ 参数控制
- ✓ 各节点数据显示
- ✓ 数据存储回放
- ✓ 波特率控制
- ✓ 状态显示



# PART.4

## FSK雷达关键技术



## ● 关键技术

- 相位提取(复数域、时域、频域)

**复数域：直流偏置校准+幅度小于半波长+不支持多人**

**时域：直流偏置校准+不支持多人+多径干扰敏感**

**频域：不需直流偏置校准+支持多人+对多径干扰不敏感**

- 全相位FFT处理
- 单路测距

**最大探测无模糊距离减半**



Thanks