

FSK雷达技术分享交流

汇报人：刘楚君（雷达系统部）



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



目录



富奥星
Phosense

PART.1

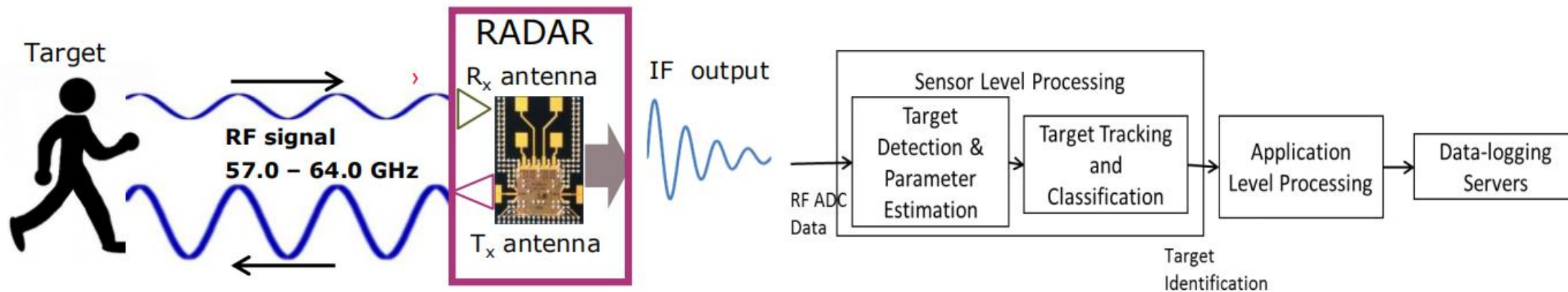
FSK雷达简介



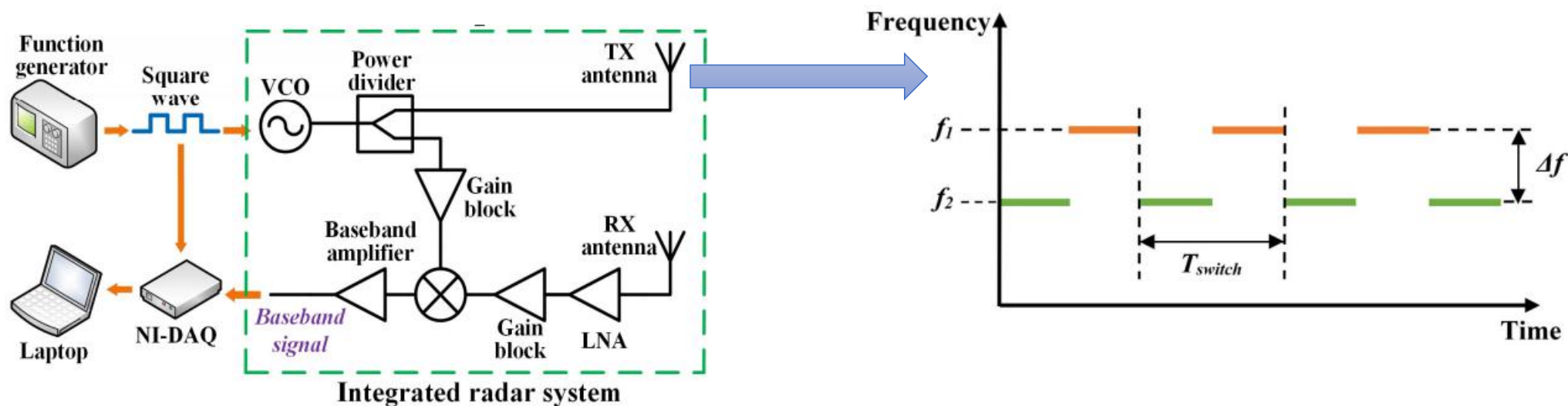


FSK雷达简介

- 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:
$$R_k(t) \approx \text{Re} \left\{ \exp \left[j \left(2\pi \left(f_k \pm \frac{2v f_k}{c} \right) t - \frac{4\pi R_0}{\lambda_k} + \varphi_{o,k} \left(t - \frac{2R_0}{c} \right) - \varphi_{r,k} \right) \right] \right\}$$
$$= \text{Re} \left\{ \exp \left[j \left(2\pi (f_k \pm f_{d,k}) t - \frac{4\pi R_0}{\lambda_k} + \varphi_{o,k} \left(t - \frac{2R_0}{c} \right) - \varphi_{r,k} \right) \right] \right\}$$

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。



富奥星
Phosense

PART.2

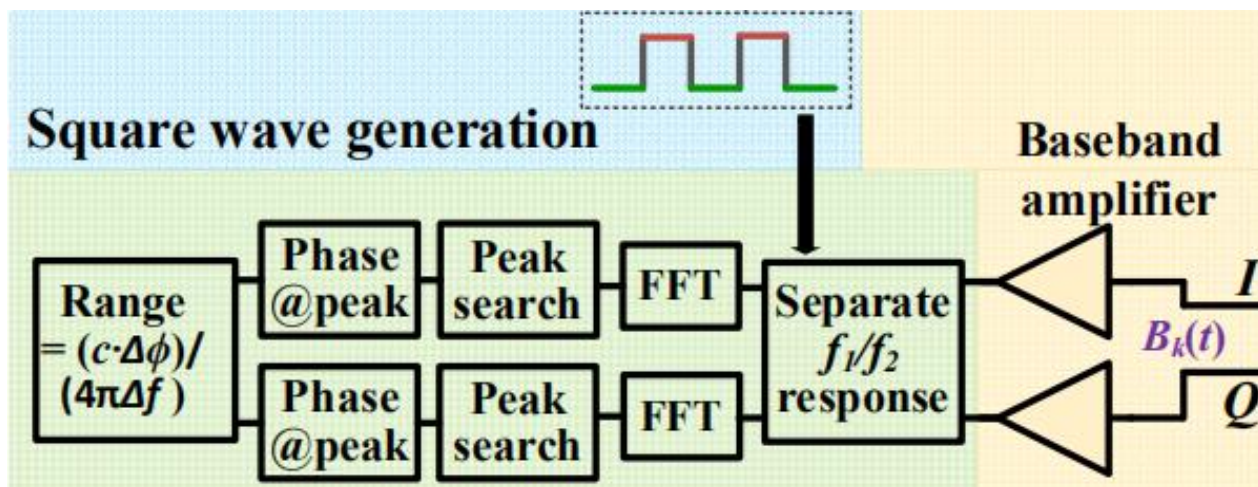
FSK雷达典型应用



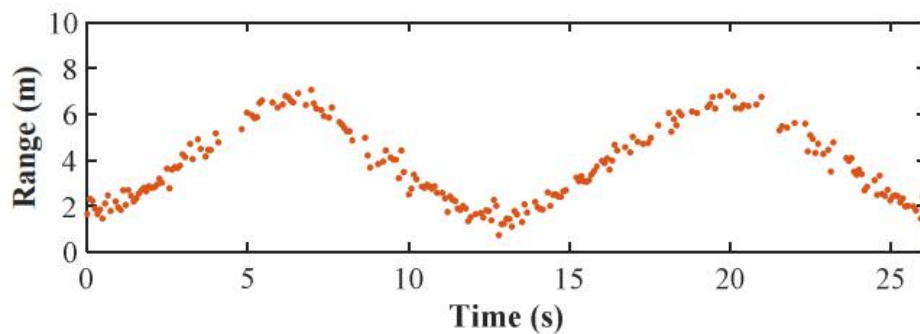


● 距离跟踪

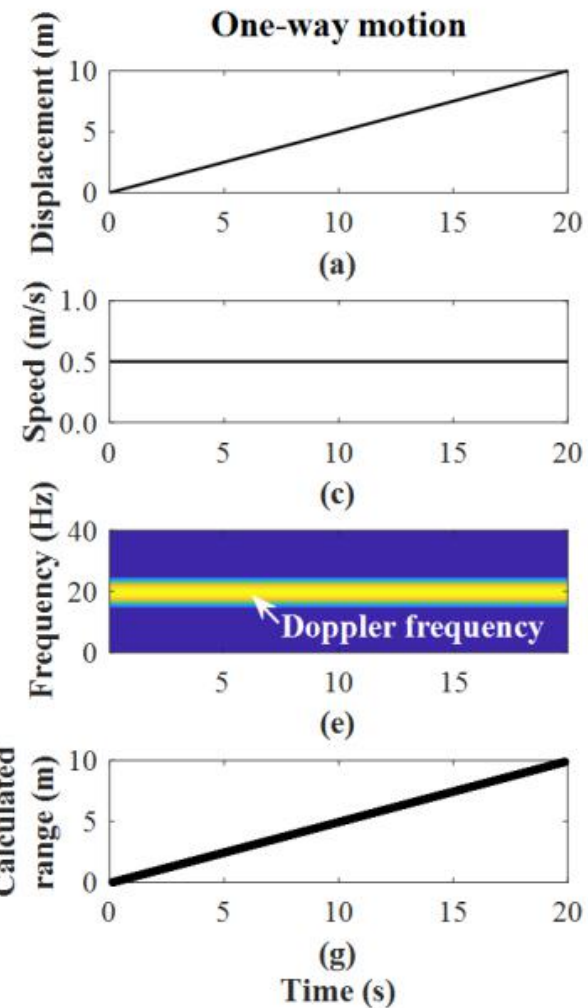
• 跟踪算法流程



• 实测结果



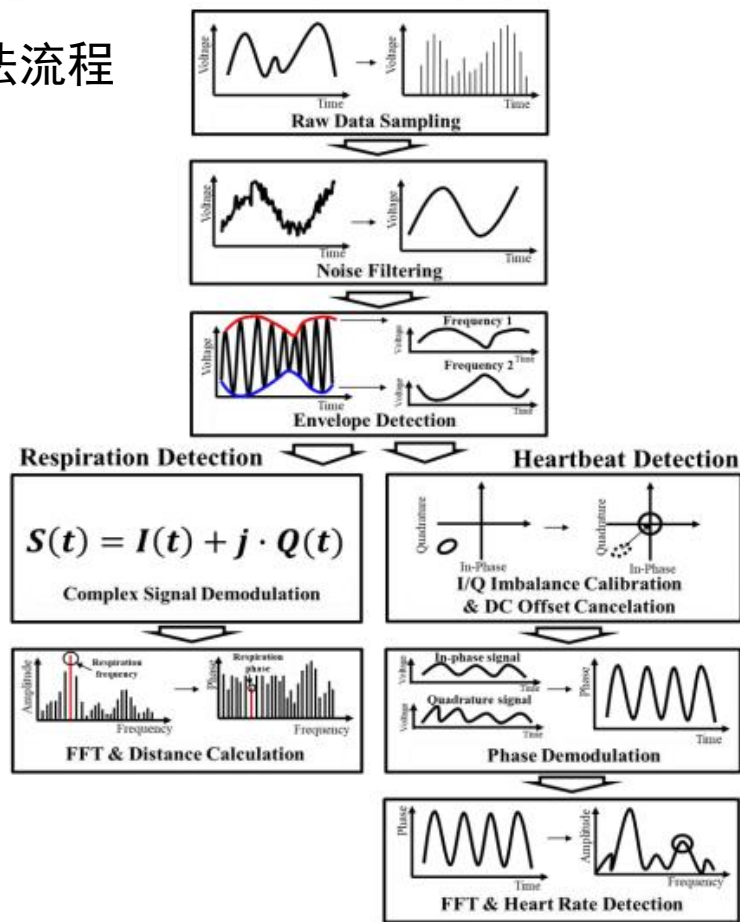
• 仿真结果



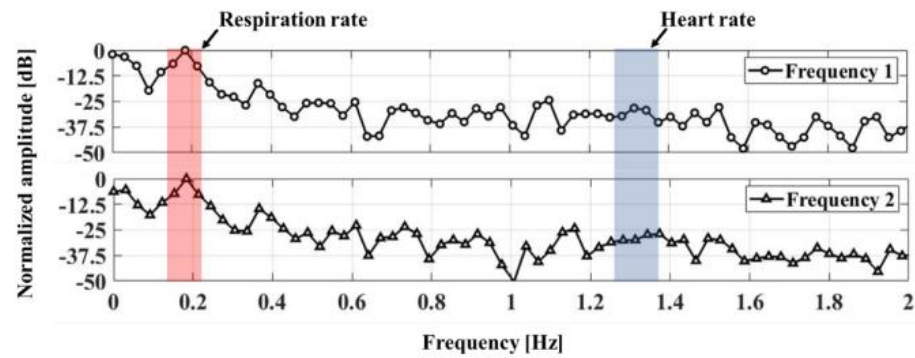


● 生命体征信息提取

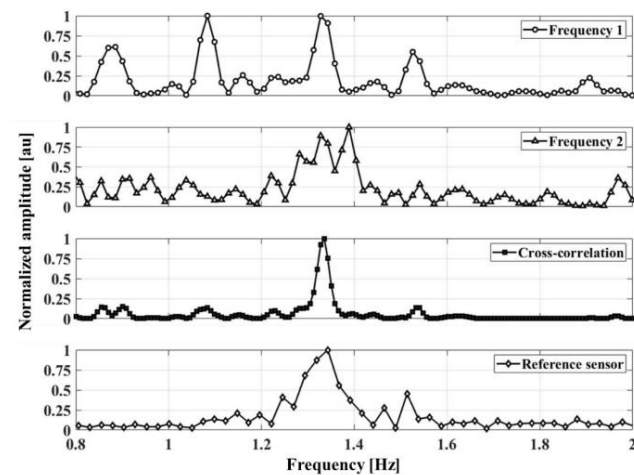
• 算法流程



• 呼吸信息提取结果



• 心跳信息提取结果





● 基于生命体征信号的定位

• 算法原理

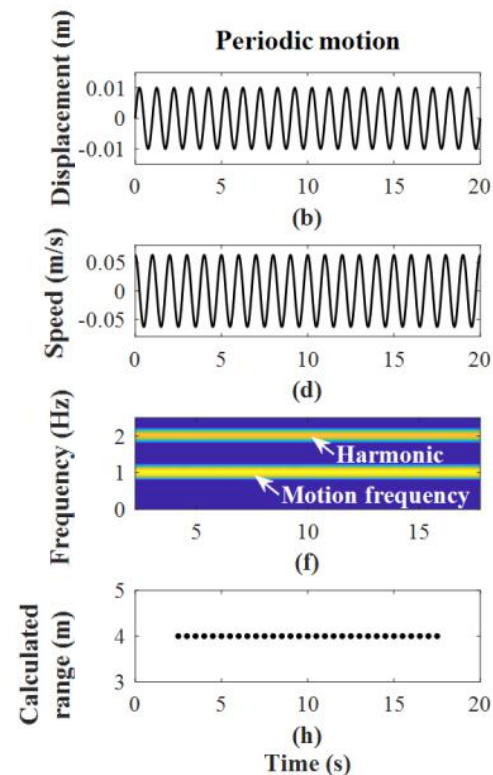
接收信号: $R_k(t) \approx \text{Re} \left\{ \exp \left[j \left(2\pi f_k t - \frac{4\pi x(t)}{\lambda_k} - \frac{4\pi D_0}{\lambda_k} + \varphi_k \right) \right] \right\}$

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

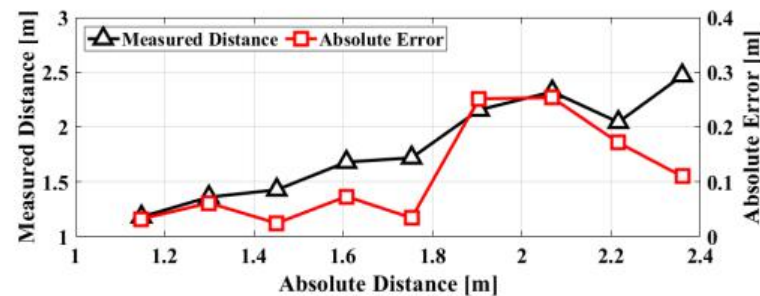
相位差: $\Delta\varphi(t) = \frac{4\pi D_0}{\lambda_2} - \frac{4\pi D_0}{\lambda_1}$

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

• 仿真结果



• 实测结果



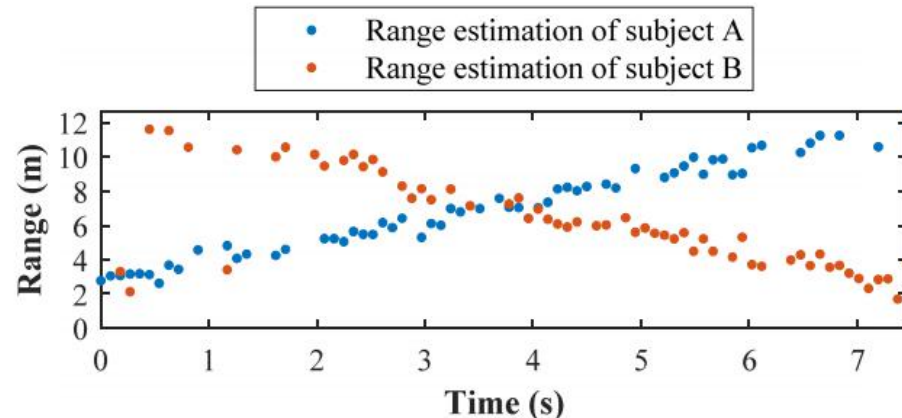


● 多人跟踪

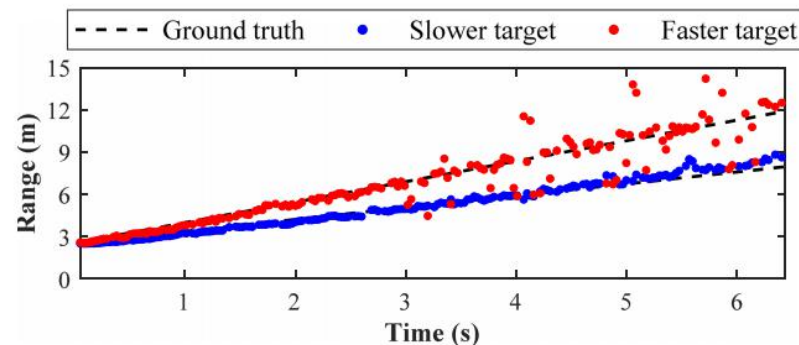
• 工作原理

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





富奥星
Phosense

PART.3

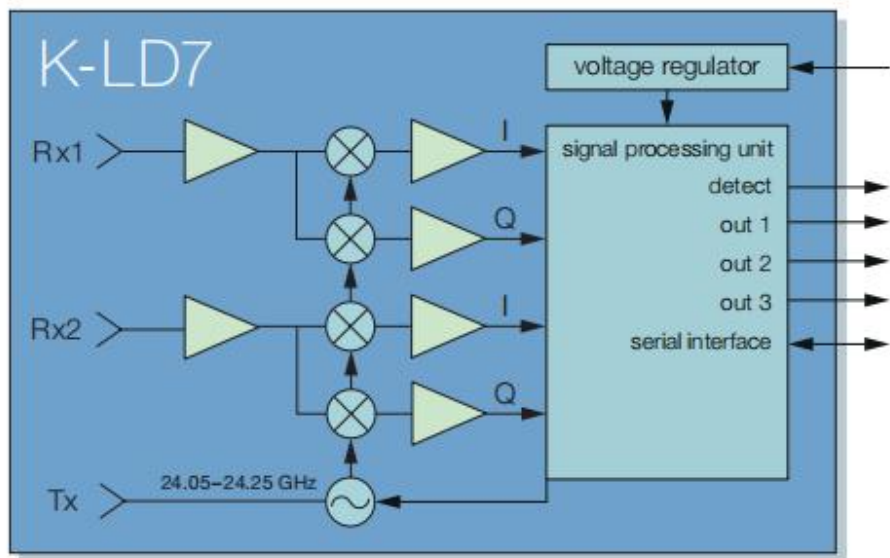
FSK雷达典型产品介绍





● KLD7数字雷达

• 组成框图



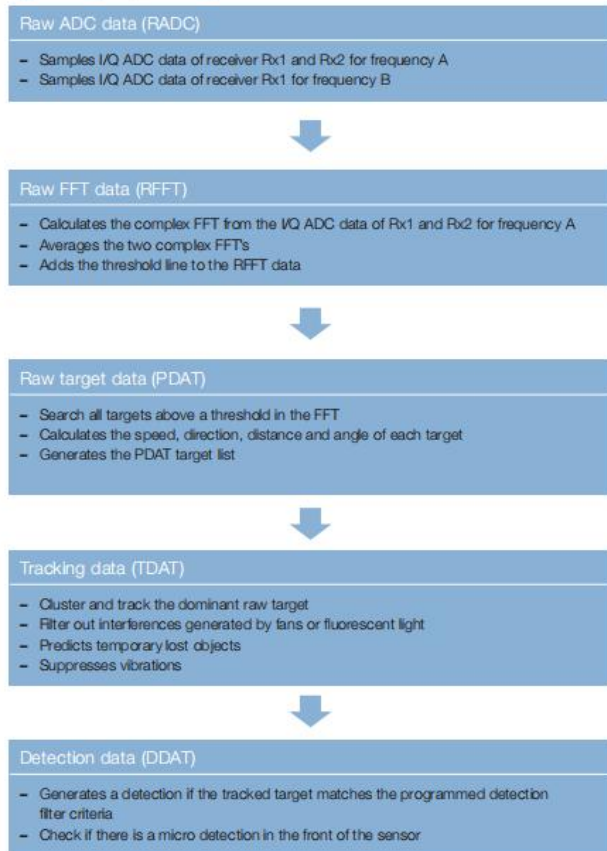
• 产品特征

- 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

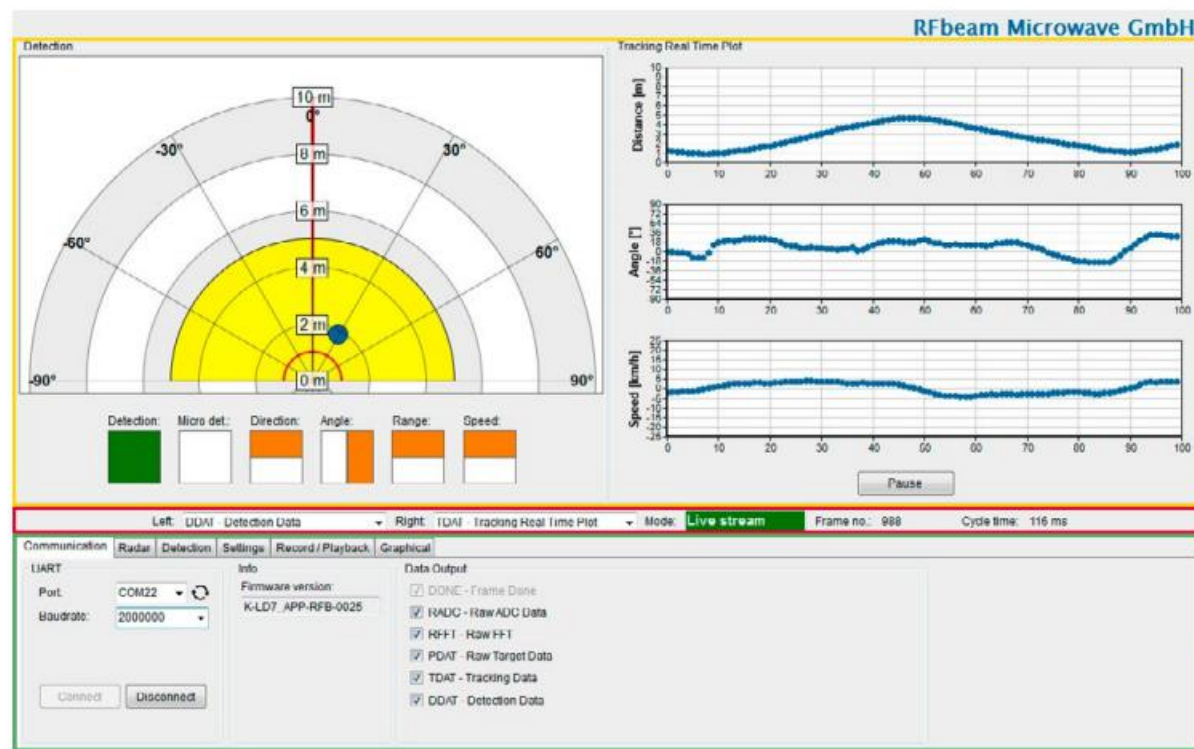
✓ 参数控制

✓ 各节点数据显示

✓ 数据存储回放

✓ 波特率控制

✓ 状态显示



Views

Miscellaneous
Display Controls

Tabs



富奥星
Phosense

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