



雷达传感器功能应用说明

24GHz 平面天线雷达

技术支持手册 I V 1.0

2012 . 06

目 录

| | | |
|------------|--------------------|--------|
| 1 | 概述 | - 1 - |
| 2 | 探测动态目标的速度 | - 1 - |
| 3 | 探测静态目标的距离 | - 3 - |
| 4 | 探测动态目标的距离和速度 | - 6 - |
| 5 | 辨别动态目标的运动方向..... | - 8 - |
| 6 | 探测目标的方位..... | - 9 - |
| 7 | 总结 | - 13 - |
| 版本信息 | | - 13 - |
| 公司信息 | | - 13 - |

声 明

本手册内容仅供参考。本公司有权对本手册内容进行定期变更，恕不另行通知。变更内容将会补充到新版本资料中，请及时联系本公司获取最新资料。

1 概述

雷达是利用电磁波探测目标的电子设备，其工作原理可简述为：发射电磁波对目标进行照射并接收其回波，由此获得目标至电磁波发射点的距离、距离变化率（径向速度）、方位、高度等信息。

目前常用的雷达工作频段有：

10.525GHz——X 波段，

24 GHz——K 波段，

35 GHz——Ka 波段，

77 GHz——V 波段。

目前，我公司的主营业务是 24GHz 即 K 波段微波雷达产品。24GHz 是 ISM 规定的全球通用的一个雷达工作频段，在此频段上工作时所受干扰较小。

我公司所代理的 24GHz 微波雷达传感器均为德国 InnoSenT 公司生产，其采用世界最先进的平面微带技术，具有体积小、集成化程度高、感应灵敏等特点。产品多工作于 CW 和 FMCW 模式，功能应用多样，包括：探测动态目标的速度、静态目标的距离、动态目标的距离和速度、目标的方位（角度测量）以及判别运动的方向。

2 探测动态目标的速度

IPS 系列产品适于探测动态目标的速度信息，探测过程中只产生由多普勒效应引起的频差，即由多普勒效应引起的同一时刻发射信号和目标回波信号的频率差异。

■ 工作模式

单通道CW工作模式，无需设置调制信号。**V_{tune}** 引脚悬空或接入一个直流高电平（如DC 0.5V）。

■ 测速精度

约 1%左右，主要取决于后端信号处理技术。

■ 适用模块

IPM-165, IPS-144, IPS-146, IVS-148, IVS-179 等。

■ 应用领域

交通监测，智能驾驶、报警设备、体育应用等。

■ 工作原理

以 IPS-144 为例。

1. 原理框图

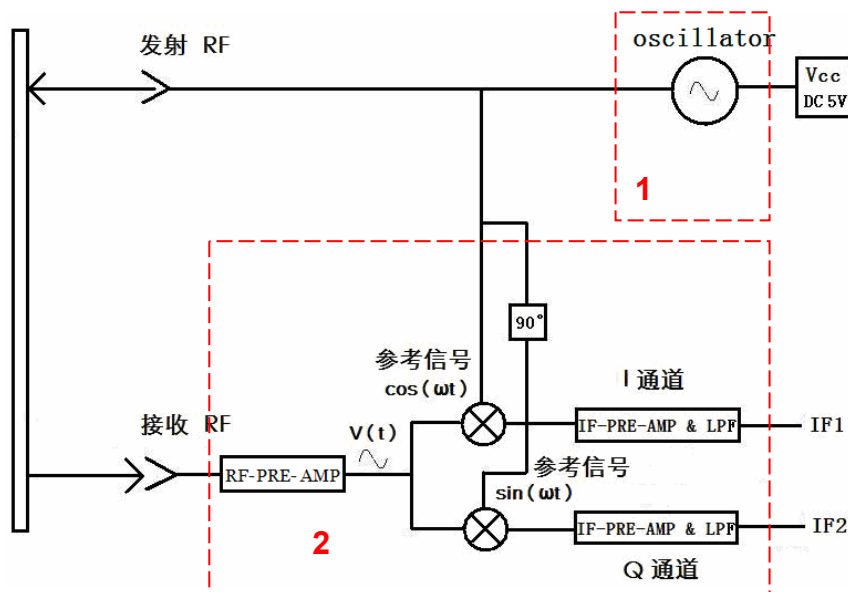


图 1 IPS-144 结构示意图

信号源：（图 1 中 1 部分所示。）

振荡器：外接 5V 电压源，振荡发射 24GHz 微波信号，实现 CW 工作模式。

信号处理：（图 1 中 2 部分所示。）

RF 前置放大器：对回波信号进行放大处理，并能在一定程度上提高传感器远距离探测的灵敏度。

混频器：同一时刻发射信号与接收信号在此处混频。

IF 前置放大器：初步滤除干扰和噪声信号，限制信号带宽，并且能在一定程度上避免传感器遭受 ESD 静电危害。

信号收发：

发射天线：信号发射路径。

接收天线：目标回波信号接收路径。

2. 工作流程

雷达传感器接口连接方式请参见产品详细使用说明。具体工作流程如下：

由振荡器振荡发出一个频率为 f_{tra} 的发射信号，其中一路经发射天线发射出去，一路又分流成两路分别进入 I、Q 所在的通道的混频器中，其中 Q 通道的信号在混频之前还需先经 90° 的移相；接收天线接收到的回波信号，先经低噪声放大处理后，再分别经混频器与实时分流的两路信号进行混频；混频后得到的信号再经中频滤波放大处理，最终得到 I、Q 两路中频差频信号。

I、Q 两路中频输出信号中即携带有探测目标的速度和方向信息。

■ 算法分析

根据 I 或 Q 信号分析目标的速度信息。参考算法公式如下：

$$f_D = 2 f_0 \cdot \frac{v}{c_0} \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

f_D 多普勒频率或差频

f_0 雷达的发射频率

v 运动物体的速度范围

c_0 光速

α 运动的实际方向与传感器——目标连线之间的角度

由以上公式可大致得到多普勒频率 f_D 与径向运动速度 v 的对应关系（此时令 $\alpha = 0$ ）。例如：44Hz (f_D) = 1Km/h (v)，8.8kHz (f_D) = 200 Km/h (v)。

3 探测静态目标的距离

IVS 系列雷达产品均适于探测静态目标与雷达传感器之间的距离，探测过程中只产生频率的延时效应，即由时间延迟引起的同一时刻发射信号和目标回波信号的频率差异。

■ 工作模式

单通道 FMCW 工作模式，需设置调制信号。

■ 适用模块

IVS-179, IVS-148, IVS-167 等。

■ 应用领域

交通监测，火车调车帮助，汽车防撞控制等。

■ 工作原理

以 IVS-179 为例。

1. 原理框图

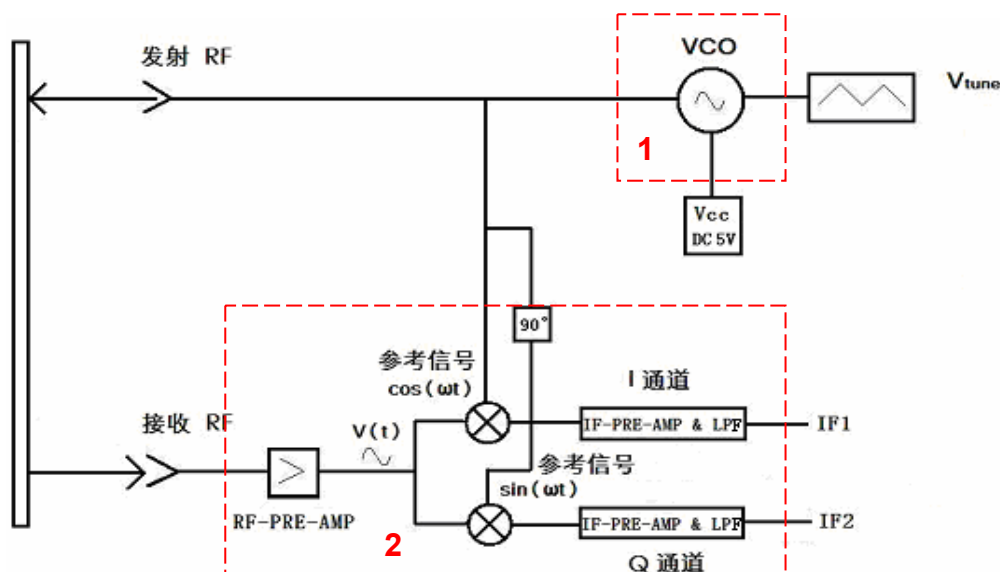


图 2 IVS-179 结构示意图

信号源：（图 2 中 1 部分所示。）

VCO：通过 V_{tune} 的幅值变化来控制发射信号的频率，实现 FMCW 工作模式。

信号处理：（图 2 中 2 部分所示。）

RF 前置放大器：对回波信号进行放大处理，并能在一定程度上提高传感器远距离探测的灵敏度。

混频器：同一时刻发射信号与接收信号在此处混频。

IF 前置放大器：初步滤除干扰和噪声信号，限制信号带宽，并且能在一定程度上避免传感器遭受静电危害。

信号收发：

发射天线：信号发射路径。

接收天线：目标回波信号接收路径。

2. 设置调制信号

探测静态目标的距离，即静态目标到传感器之间的距离，调制信号采用锯齿波即可。这是因为，此时的干扰大多为多普勒信号，而在抗干扰性能方面，锯齿波调制要优于三角波调制。选用线性升坡曲线或者降坡曲线作为发射频率的时间相关函数，并定期重复这些波，以期得到可能的平均值。

- 调制幅度：选取调谐曲线中线性度最好的一段确定 V_{tune} 的调节范围。理论上，调制幅度最大范围为 0.5V~10V；

- 调制频率：理论上最大不能超过 150kHz，但建议探测远距离目标（30~100m）时采用 100~200Hz 的调制频率，探测近距离目标（10~20m）时采用 500~1kHz 的调制频率。

3. 工作流程

雷达传感器接口连接方式请参见产品详细使用说明。具体工作流程如下：

由VCO输出一个频率为 f_{tra} 的发射信号，其中一路经发射天线发射出去，一路又分流成两路分别进入I、Q所在的通道的混频器中，其中Q通道的信号在混频之前还需先经 90° 的移相；接收天线接收到的回波信号，先经低噪声放大处理后，再分别经混频器与实时分流的两路信号进行混频；混频后得到的信号再经中频滤波放大处理，最终得到I、Q 两路中频信号。

I、Q 两路中频输出信号中均携带有探测目标的距离信息。

■ 算法分析

差频信号中的距离信息，是通过由时间延迟引起的差频信号来反映的。下图 3 是带有锯齿形调制方案的 FMCW 雷达发射和接收信号的时间相关曲线。

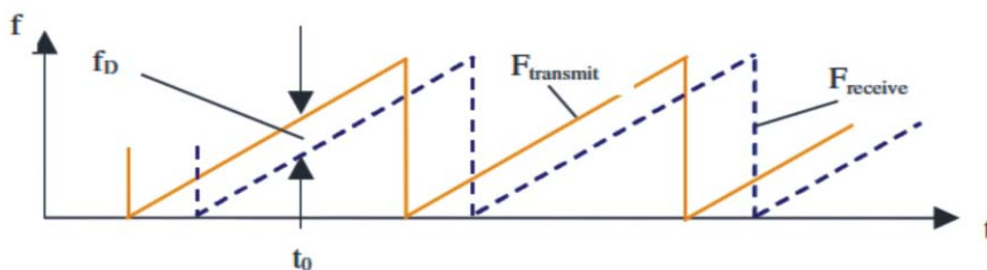


图 3 经锯齿波调制的 FMCW 雷达发射和接收信号的时间相关曲线

发射频率曲线（黄色）与接收频率曲线（蓝色）的唯一区别是时间延迟。如上图所示，在某一时刻 t_0 的瞬时接收信号，其频率低于瞬时发射频率（对于升坡曲线而言），原因是传感器在同一时刻发射频率已经升高。如果在混频器中混合发射信号和接收信号，就会生成一个恒定的差频信号 f_D ，其中包含所需的距离信息。而且，此频率越高，目标的距离越远。参考算法公式：

$$R = \frac{c_0}{2} \cdot T \cdot \frac{f_D}{\Delta f} \quad (2)$$

或

$$R = \frac{c_0}{2} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{f_D}{\Delta f} \quad (3)$$

f_D 差频

Δf 振荡器发射频率的变化范围，即调频宽度

T 齿波重复周期

R 目标的距离

c_0 光速

f 调频速度， $f = \frac{1}{T}$

4 探测动态目标的距离和速度

IVS 系列雷达产品均适于同时探测动态目标的距离和瞬时速度，探测过程中既产生时间延迟效应又有多普勒效应，即同一时刻发射信号和目标回波信号的频率差异是由时间延迟效应和多普勒效应共同引起的。

■ 工作模式

单通道 FMCW 工作模式，需设置调制信号。

■ 适用模块

IVS-179, IVS-148, IVS-167 等。

■ 应用领域

交通监测，铁路站台监控，汽车防撞控制等。

■ 工作原理

以 IVS-179 为例。

可参见第 3 节。I、Q 两路信号中分别都携带有在调制信号升坡阶段产生的信号差频 $f_{\text{diff_up}}$ 和降坡阶段产生的信号差频 $f_{\text{diff_down}}$ 。 $f_{\text{diff_up}}$ 和 $f_{\text{diff_down}}$ 同时与动态目标的距离和速度信息相关。

■ 算法分析

差频信号中的距离和速度信息，是通过多普勒效应和时间延迟效应叠加来反映的。下图描述了采用三角波调制时雷达的发射和接收情况。

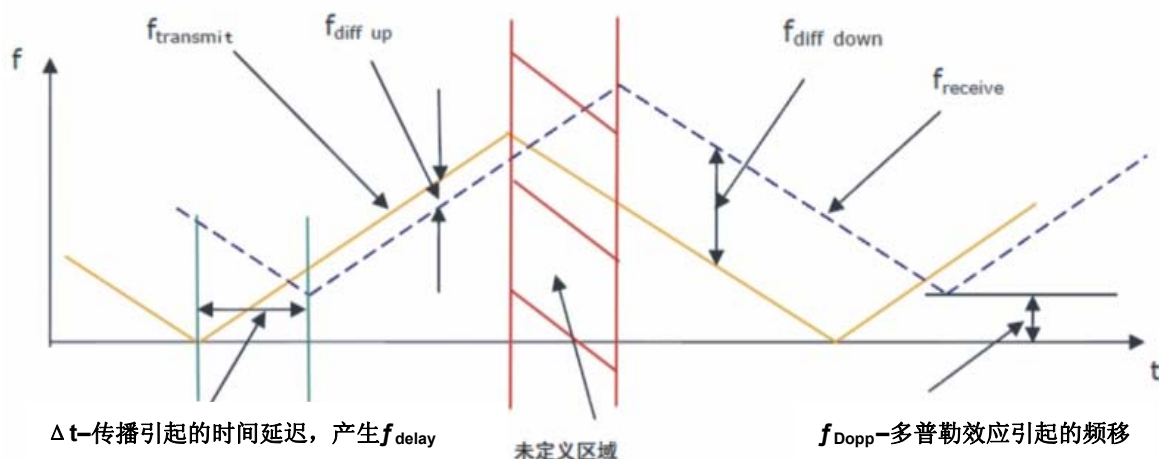


图 4 经三角波调制的 FMCW 雷达发射和接收信号的时间相关曲线

如上图所示，实线为发射信号，虚线为接收信号。

延时效应 将导致两个信号在X轴（时间轴）上，产生一个 Δt 的差值， Δt 即为回波信号相较于发射信号的时间延迟。由 Δt 会产生一个差频信号 f_{delay} ， f_{delay} 即为某一时刻回波信号频率与发射信号频率的差值，原因是当雷达接收到回波信号时发射频率已经发生变化。

由第 3 节中公式（2）可得：

$$f_{\text{delay}} = \frac{2 \cdot R \cdot \Delta f}{c_0 \cdot T} \quad (4)$$

多普勒效应 将导致接收信号在Y轴（频率轴）上产生一个多普勒频移 f_{Dopp} 。

由第 2 节中公式（1）可得：

$$f_{\text{Dopp}} = 2f_0 \cdot \frac{v}{c_0} \cdot \cos \alpha \quad (5)$$

为简化公式，令角度 $\alpha = 0$ ，即目标相对于雷达传感器做径向运动，则公式（5）可简化为：

$$f_{\text{Dopp}} = 2f_0 \cdot \frac{v}{c_0} \quad (6)$$

由图 4 我们可以看出，在升坡阶段，时间延迟效应与多普勒效应相互抵消；在降坡阶段，这两种效应叠加。由此，可计算出在三角调制信号的升坡阶段雷达的输出信号 $f_{\text{diff_up}}$ ，以及降坡阶段的输出信号 $f_{\text{diff_down}}$ ：

$$f_{\text{diff_up}} = |f_{\text{Dopp}} - f_{\text{delay}}| \quad (A)$$

$$f_{\text{diff_down}} = f_{\text{Dopp}} + f_{\text{delay}} \quad (B)$$

(A) + (B) 可得：

$$f_{\text{diff_up}} + f_{\text{diff_down}} = 2 \cdot f_{\text{Dopp}} \quad (C)$$

将公式（C）带入公式（6）可得速度公式：

$$v = \frac{c_0 \cdot (f_{\text{diff_up}} + f_{\text{diff_down}})}{4 \cdot f_0} \quad (7)$$

(B) - (A) 可得：

$$|f_{\text{diff_up}} - f_{\text{diff_down}}| = 2 \cdot f_{\text{delay}} \quad (D)$$

将公式（D）代入公式（4）可得距离公式：

$$R = \frac{(|f_{diff_up} - f_{diff_down}| \cdot c_0 \cdot T)}{4 \cdot \Delta f} \quad (8)$$

分析传感器的输出信号，得到 f_{diff_up} 和 f_{diff_down} 的信息，再由公式（7）和公式（8），即可得到动态目标的速度和距离信息。

5 辨别动态目标的运动方向

辨别动态目标的运动方向，即探测动态目标相对于雷达传感器做哪个方向的运动：靠近或远离。

IPS 系列和 IVS 系列的双通道雷达传感器均可实现此功能。

■ 工作模式

双通道工作模式。

■ 适用模块

IPS-144, IPS-146, IVS-148, IVS-179 等。

■ 应用领域

交通监测，智能驾驶等。

■ 工作原理

以 IPS-144 为例。请参见第 2 节。

■ 算法分析

参照运动目标的方向与 I、Q 信号之间的变化关系（图 5），采用适当的信号处理方法，可分析得到目标的方向信息。

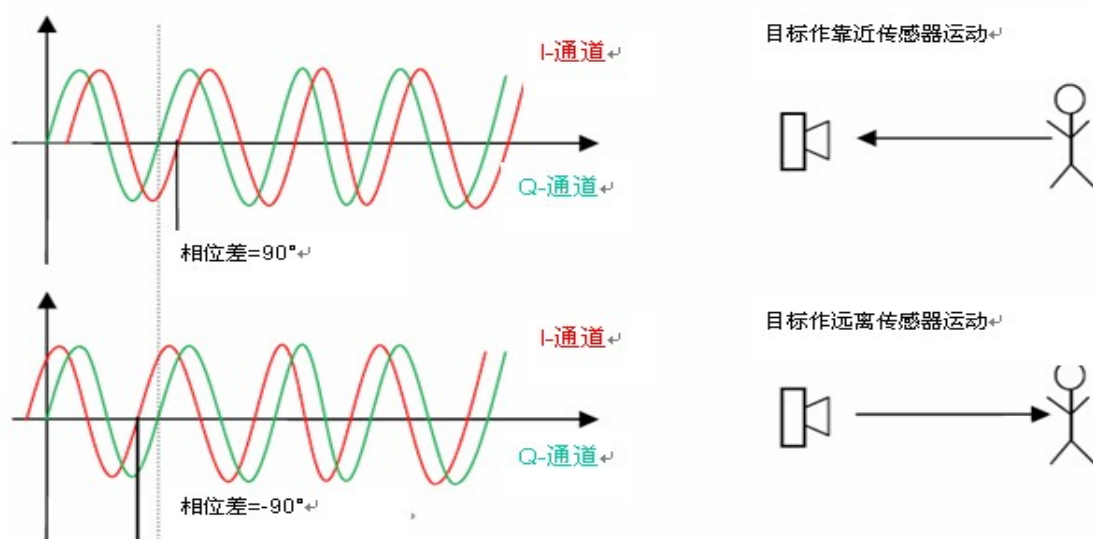


图 5 运动目标的方向与 I、Q 信号的关系

如上图所示，当目标做靠近传感器的径向运动时，I 信号滞后于 Q 信号 90° ；当目标做远离传感器的径向运动时，I 信号超前于 Q 信号 90° 。

理论上，I、Q 应为两路幅值相同，相位相差 90° 的信号。但由于实际测量导致的误差，两路信号幅值可能有 6dB 的误差，相位差也会在 $60^\circ \sim 120^\circ$ 的范围内变化。

6 探测目标的方位

探测目标的方位角，实际上是探测“目标——天线”连线与法线的夹角，多用于目标定位。

IVQ-905 即拥有此项功能，其设计有一根发射天线，两根接收天线，并采用比相法来实现此功能。

■ 工作模式

双通道工作，可能为 CW 模式也可能为 FMCW（同时伴随测距）模式。在这里双通道的意义与方向辨别中的双通道意义不同，这里指的是 I_1 、 I_2 两个通道或者 Q_1 、 Q_2 两个通道。

■ 适用产品

IVQ-905。

■ 应用领域

车辆车道定位，智能驾驶等。

■ 工作原理

1. 原理框图

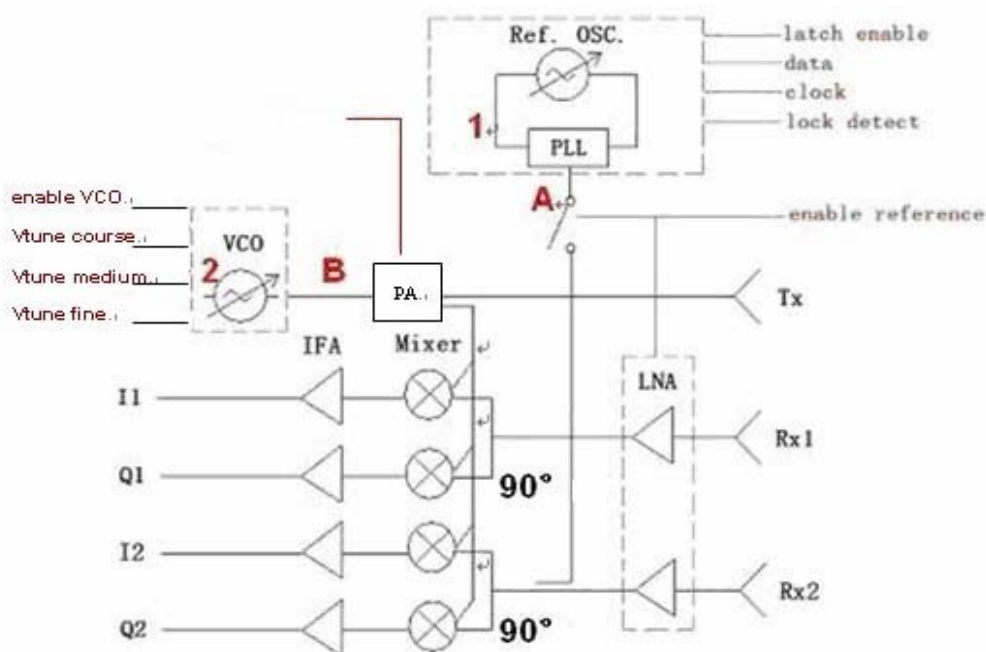


图 6 IVQ-905 原理框图

2. 设置调制信号

若传感器工作于 FMCW（同时伴随测距）模式，则需首先设置调制信号。

- 调制幅度：选取调谐曲线中线性度最好的一段确定 V_{tune} 的范围。IVQ-905 调谐曲线的校准方法请参见其使用说明手册，这里不做赘述。

- 调制频率：调制信号频率理论上最大不能超过 150kHz，但建议探测远距离目标（30~100m）时采用 100~200Hz 的调制频率，探测近距离目标（10~20m）时采用 500~1kHz 的调制频率。

若传感器工作于 CW 模式，则不需要设置调制信号，可直接给 V_{tune} 引脚接入一直流电平（如 0.5V）。

3. 工作流程

雷达传感器接口连接方式请参见详细产品使用说明。如图 6 所示，具体工作流程如下：

enable referece 引脚上拉。此时屏蔽相参信号，LNA 所在的接收电路被启用，即模块进入工作模式。由 VCO 输出一个频率为 f_{tra} 的信号，一路经发射天线发射出去，一路往下又分成 4 路分别进入 I_1 、 Q_1 、 I_2 、 Q_2 所在的通道，其中 Q_1 和 Q_2 两路信号在混频之前还需先经 90° 的移向；两根接收天线接收到的回波信号，先经低噪声放大处理后，再经混频器与实时分流的 4 路信号进行混频。混频信号再经中频滤波处理，最终得到 I_1 、 Q_1 、 I_2 、 Q_2 四路信号。

同时分析 I_1 和 I_2 两路信号或者同时分析 Q_1 和 Q_2 两路信号，即可以得到角度信息。

■ 算法分析

以同时分析 I_1 和 I_2 两路信号为例。

图 7 为 IVQ-905 测角时接收天线的工作原理模拟图。假设此时传感器天线面与水平面垂直。图 8 为 IVQ-905 天线面的实物图。由图 7 和图 8 均可以看出，两根接收天线之间相隔距离为 d ，这便造成了回波信号会一前一后的到达接收天线。图 7 中接收天线 1 滞后接收天线 2 一个 ΔR 倍的波长，也可以说，两根天线同时接收到的信号在相位上相差一个 $\Delta\Phi$ 。 θ 即为待测角度，则可得出：

$$\theta = \arcsin \left(\frac{\Delta R}{d} \right) \quad (9)$$

由电磁波波长和相位关系可知， $\frac{\Delta\phi}{\Delta R} = \frac{2\pi}{\lambda}$ ，代入公式（9）可得：

$$\theta = \arcsin \left(\frac{\lambda \cdot \Delta\phi}{2\pi \cdot d} \right) \quad (10)$$

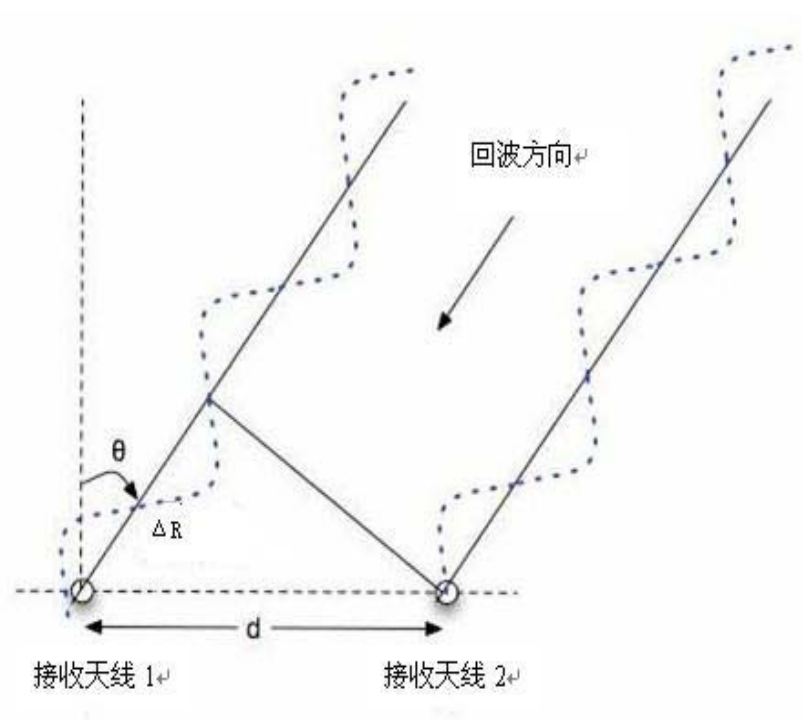


图 7 IVQ-905 测角原理模拟图

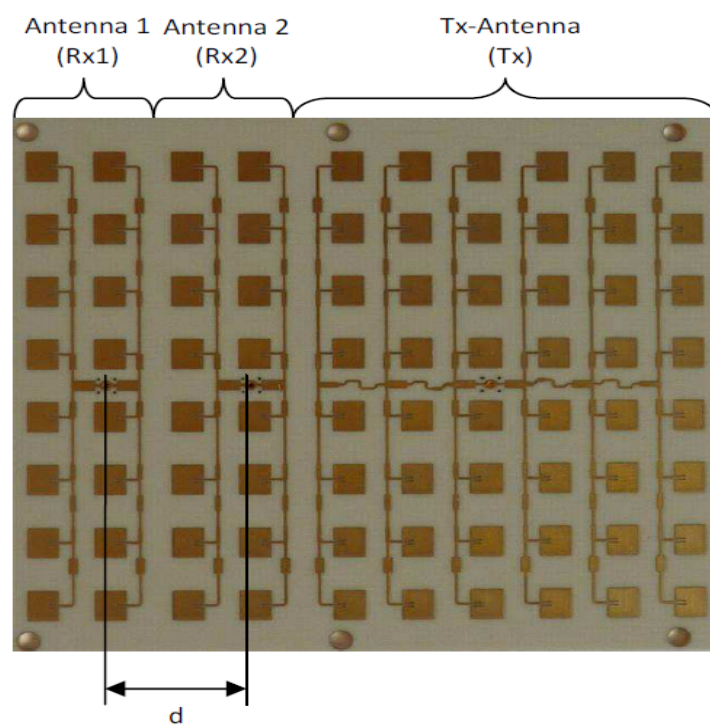


图 8 IVQ-905 天线实物图

同时分析 I_1 和 I_2 两路信号，先经滤波放大处理以后，再通过一个相位比较装置，得到 $\Delta\Phi$ 。最后将 $\Delta\Phi$ 带入公式（10），即得到所需的角度的信息。

■ 测量精度

下图为 IVQ-905 测角应用的模拟图，假设此时传感器天线面与水平面垂直。由下图可以看出， θ 即目标中心点与接收天线中线的夹角。

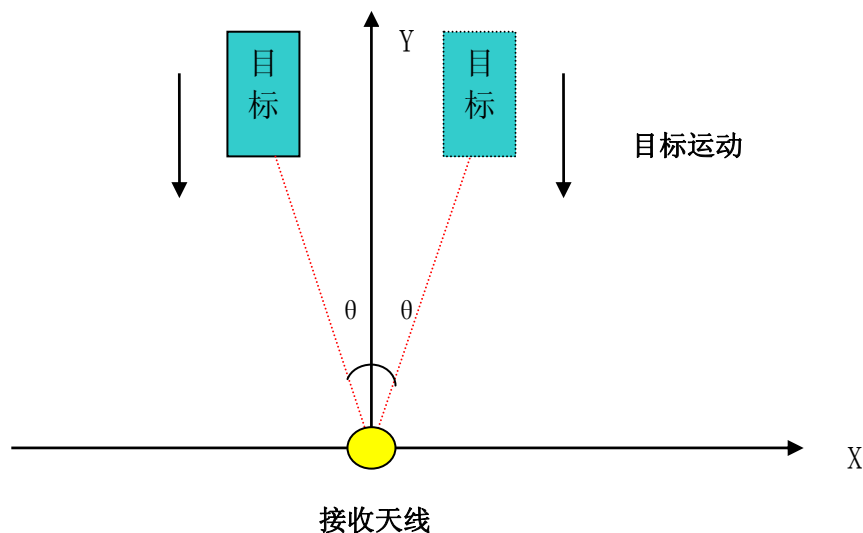


图 11 IVQ-905 模拟测角应用图

假设雷达天线为全向天线， θ 的理论理想范围可达到 $-\pi \sim +\pi$ 。若令 $d=6\text{mm}$ ， $\Delta\Phi=\pi$ （理想状态），则可由公式（10）得到 θ 的范围为 $-90^\circ \sim +90^\circ$ ，即平面天线可能测得水平面 180° 范围内的任意角度。然而， d 值最小只能设计至 14mm ，此时可计算出 θ 的范围为 $-40^\circ \sim +40^\circ$ ，这就是雷达传感器可能测得的最大角度范围。

实际上，IVQ-905 并非全向天线雷达，因此在实际工作时，雷达的测角范围需结合雷达的安装角度及雷达天线角度来考虑。

理论上，测角误差应不超过 0.3° 。一般来说，测角精度是由后期的信号处理技术决定，但在实际测量中，测量角度范围越小，测量精度可能越大。

7 总结

本资料描述了本公司的雷达传感器产品在各个功能应用中的工作原理及公式算法分析，可大致总结为：FMCW 模式应用于目标的距离探测，CW 模式应用于目标的速度和存在探测，双通道模式应用于运动方向辨别。

请结合各个雷达产品的详细使用手册进一步理解产品的工作原理和操作方法，并结合公式算法合理的设计后端信号处理电路。

版本信息

| 版本号 | 发布日期 | 页数 | 文档描述 |
|-----|---------|----|--------------|
| 1.0 | 2012.06 | 15 | 技术支持手册 I 初稿。 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

公司信息

如您对该产品有任何疑问及建议，请按以下联系方式与我们联系，我们将竭诚为您服务！

公司： 深圳市华儒科技有限公司

地址： 深圳市罗湖区银湖路专家公寓 A 栋东 702

邮编： 518029

电话：（86-755）82428254

传真：（86-755）82422715

E-mail: info@huaruchina.com

公司网址: <http://www.huaruchina.com/>