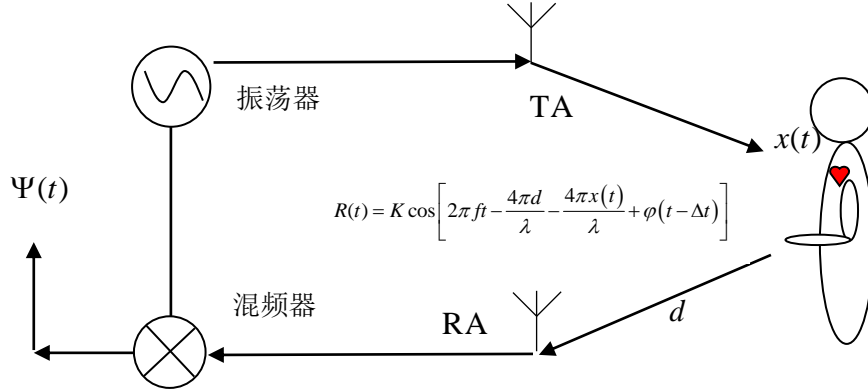


连续波多普勒雷达探测人体呼吸与心跳的模型大致表述如下图所示。人体随着呼吸与心跳将在胸腔表面产生振动，此振动将对雷达信号带来多普勒效应，通过在雷达回波中提取多普勒频移，我们就可以从中得到人体呼吸与心跳的运动信息。



在不考虑发射信号幅度调制的情况下，对 CW 雷达而言，某  $t_0$  时刻所发射出的雷达基带信号通常可写作：

$$T(t) = \cos[2\pi ft + \varphi(t)]$$

式中， $f$  为振荡器产生的信号频率， $\varphi(t)$  为振荡器产生的相位噪声， $t$  为时间。在距离雷达  $d$  处的目标，其随时间变化产生位移  $x(t)$ ，则在  $t_0$  时刻雷达所接收到的信号为：

$$R(t) = K_r \cos[2\pi f(t - \Delta t) + \varphi(t - \Delta t)]$$

式中  $K_r$  为回波信号的幅度变化量，通常称为衰减因子， $\Delta t$  为信号从发射天线传播到胸腔再返回到接收天线所需要的时间。因此有：

$$\Delta t = \frac{2[d + x(t_0')]}{c}$$

式中  $t_0'$  为信号传播至胸腔时所处的时刻。考虑到信号传播的速度为光速，使得  $t_0' \approx t$ ，将其代入式（3-12）可以得到回波信号为：

$$R(t) = K_r \cos\left[2\pi ft - \frac{4\pi d}{\lambda} - \frac{4\pi x(t)}{\lambda} + \varphi(t - \Delta t)\right]$$

接收天线接收到的信号将与本地振荡器的信号  $T(t)$  进行混频，混频主要表现为两个信号相乘：

$$\begin{aligned}
\Psi(t) &= R(t) \square T(t) \\
&= K \cos[2\pi ft + \varphi(t)] \\
&= K_r \cos\left[2\pi ft - \frac{4\pi d}{\lambda} - \frac{4\pi x(t)}{\lambda} + \varphi(t - \Delta t)\right] \\
&= \frac{KK_r}{2} \cos\left[4\pi ft - \frac{4\pi d}{\lambda} - \frac{4\pi x(t)}{\lambda} + \Delta\varphi_1\right] \\
&\quad + \frac{KK_r}{2} \cos\left[\frac{4\pi d}{\lambda} + \frac{4\pi x(t)}{\lambda} + \Delta\varphi_2\right]
\end{aligned}$$

再经过低通滤波滤掉高频分量，将得到输出信号表达形式为：

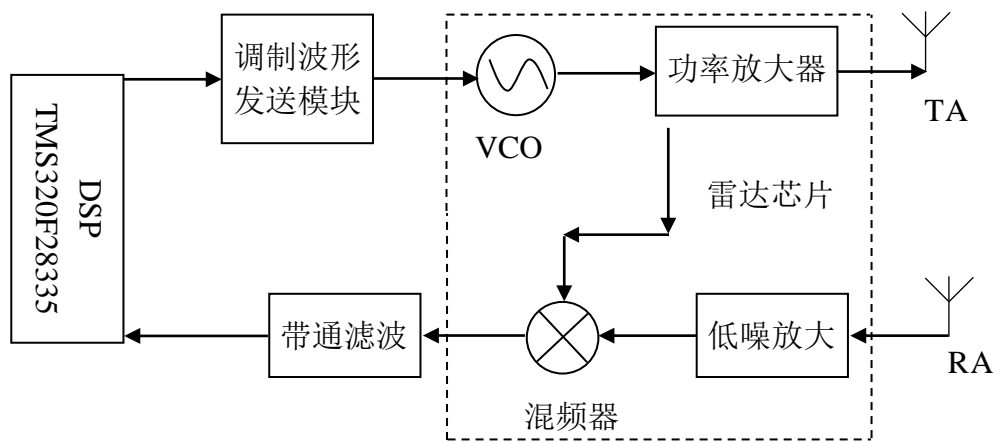
$$\Psi(t) = \cos(\Phi(t)) = \cos\left[\theta + \frac{4\pi x(t)}{\lambda} + \Delta\varphi\right] \quad \text{公式 1}$$

式中  $\Phi(t)$  为输出信号所包含的相位信息， $\Delta\varphi$  可以认为是所有相关相位噪声的总和，混频滤波之后的信号幅度归一化表示，其中：

$$\theta = \frac{4\pi d}{\lambda}$$

为常数相位偏移，其中  $4\pi d / \lambda$  随着雷达距目标的距离而改变。通过对公式 1 的解调我们就可以得到关于  $4\pi x(t) / \lambda$ ，亦即人体呼吸和心跳的运动信息。

雷达系统结构如图所示：



雷达 DSP 控制程序框图如下所示，其功能主要为控制 DSP 连续发射接收信号并作数据采样和数据处理：

