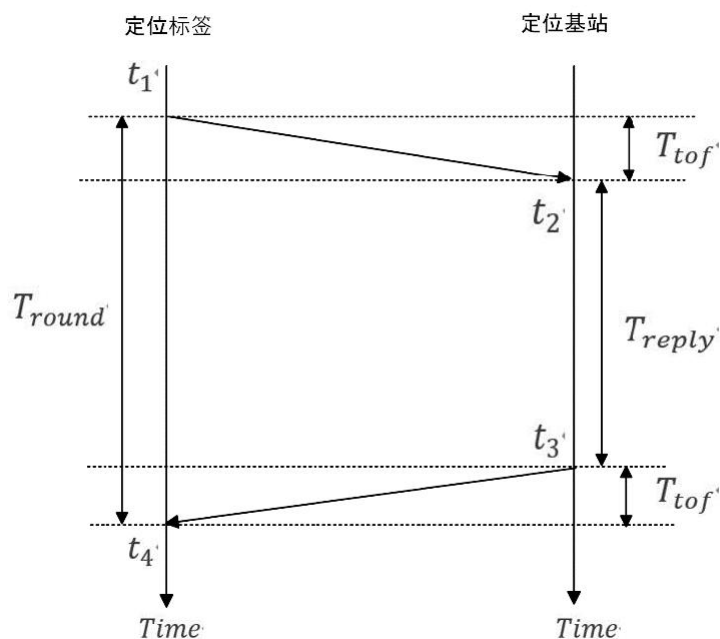


在 UWB 测距方法中，基于信号飞行时间 TOF (time of light) 技术所用的到方法有单边双向测距法 SS-TWR (Single-sided Two-way Ranging) 和双边双向测距法 DS-TWR (Double-sided Two-way Ranging)。

单边双向测距法不需要标签与基站时间同步，其测距原理如下图所示：



步骤如下：

1. 标签节点在时间 t_1 向基站发射 UWB 脉冲。
2. 基站在时间 t_2 接收到 UWB 信号后，经过延时 T_{reply} ，在时间 t_3 向标签节点发出响应信号。
3. 标签在时间 t_4 接收到基站发出的响应信号。

整个过程用时：

$$T_{round} = t_4 - t_1 \quad (1)$$

UWB 信号在标签与基站间的传输时间为：

$$T_{tof} = (T_{round} - T_{reply})/2 \quad (2)$$

则标签与基站间的距离为：

$$d = c(T_{round} - T_{reply})/2 \quad (3)$$

假定标签相对于自己的标称频率的时钟偏移为 φ_L ，基站的时钟偏移为 φ_B ，则传输时间测量值为：

$$\hat{T}_{tof} = \frac{T_{round}(1 + \varphi_L) - T_{reply}(1 + \varphi_B)}{2} \quad (4)$$

误差为：

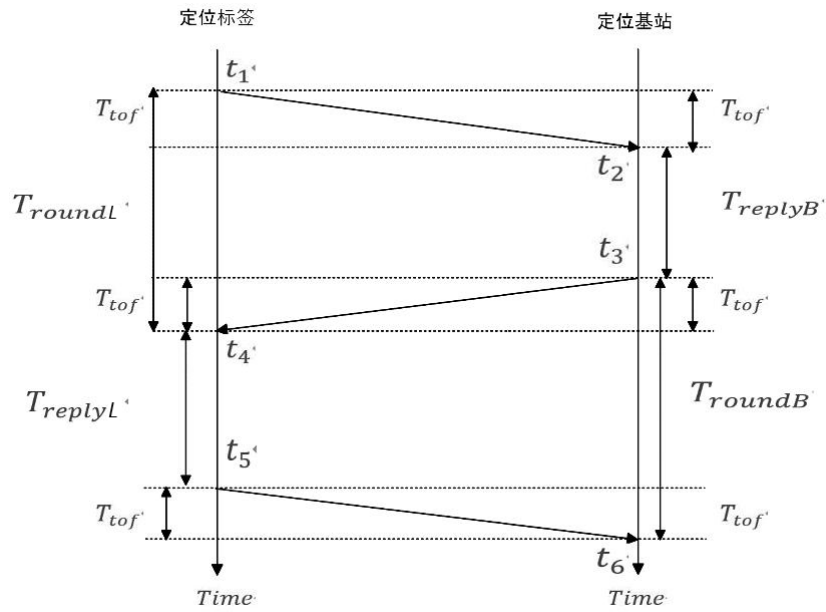
$$Error = \hat{T}_{tof} - T_{tof} = \frac{1}{2}T_{reply}(\varphi_L - \varphi_B) + T_{tof}\varphi_L \quad (5)$$

由于 $T_{reply} \gg T_{tof}$ ，最后一项可以忽略，即误差变为：

$$Error = \frac{1}{2}T_{reply}(\varphi_L - \varphi_B) \quad (6)$$

可见，误差随 T_{reply} 和时钟偏移的增大而增大。

双向双边测距法可减小由时钟偏移带来的误差问题，其测距原理如下图所示：



由上图可知 UWB 信号传输时间为：

$$T_{tof} = \frac{(T_{roundL} - T_{replyB}) + (T_{roundB} - T_{replyL})}{4} \quad (7)$$

考虑时钟偏移 φ_L 与 φ_B ，则传输时间测量值为：

$$\hat{T}_{tof} = \frac{(T_{roundL} - T_{replyL})(1 + \varphi_L) + (T_{roundB} - T_{replyB})(1 + \varphi_B)}{4} \quad (8)$$

误差为：

$$Error = \frac{(T_{roundL} - T_{replyL})\varphi_L + (T_{roundB} - T_{replyB})\varphi_B}{4} \quad (9)$$

令 $T_{replyL} = T_{reply}$ ， $T_{replyB} = T_{reply} + \Delta_{reply}$ ，则误差变为：

$$Error = \frac{1}{2}T_{tof}(\varphi_L + \varphi_B) + \frac{1}{4}\Delta_{reply}(\varphi_L - \varphi_B) \quad (10)$$

由于 T_{tof} 远小于 Δ_{reply} ，则误差可近似为：

$$Error = \frac{1}{4}\Delta_{reply}(\varphi_L - \varphi_B) \quad (11)$$

可见，对于双边双向测距法，其误差取决于设备响应时间的差 Δ_{reply} 和时钟偏移。

对于 T_{tof} 的计算，decaWave 公司 DW1000 的用户手册中提到另一种方法为：

$$T_{tof} = \frac{T_{roundL}T_{roundB} - T_{replyL}T_{replyB}}{T_{roundL} + T_{roundB} + T_{replyL} + T_{replyB}} \quad (12)$$

上式可由式 (7) 得到，以下不再赘述。