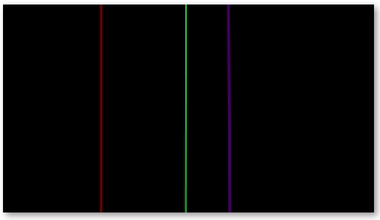
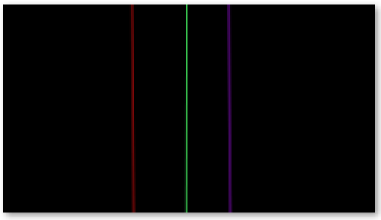
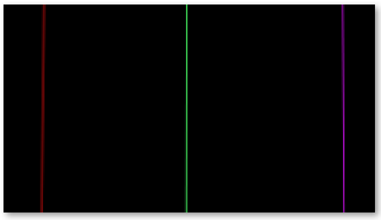
基于三色激光的水下坐标定位

> **Title** : 定位方案1.0 - 基于三色激光的水下坐标定位
>
> **Date** : 12/1/2018

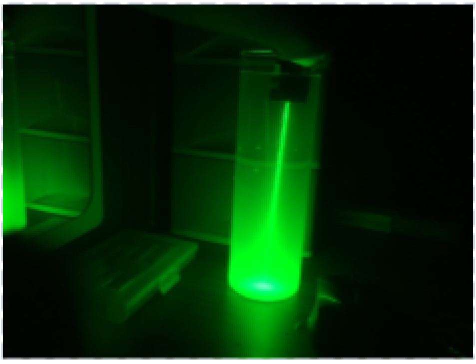

001.png

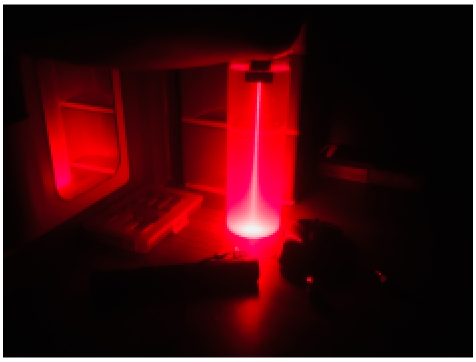

002.png


003.png

1. 定位方案简述

水下定位方案先是采用了基于三色激光的水下坐标定位。具体方案是将三根不同颜色的激光（红，绿，紫）从水面共面平行射入水中，三根激光柱此后位置不变，作为无人机位置参考标志。无人机在水下配合摄像头视觉获取（无人机利用摄像头在水中水平捕获到的画面是三个不同颜色的线）结合转换算法，在浑浊水域下可利用丁达尔效应进行较为精确的相对坐标定位。



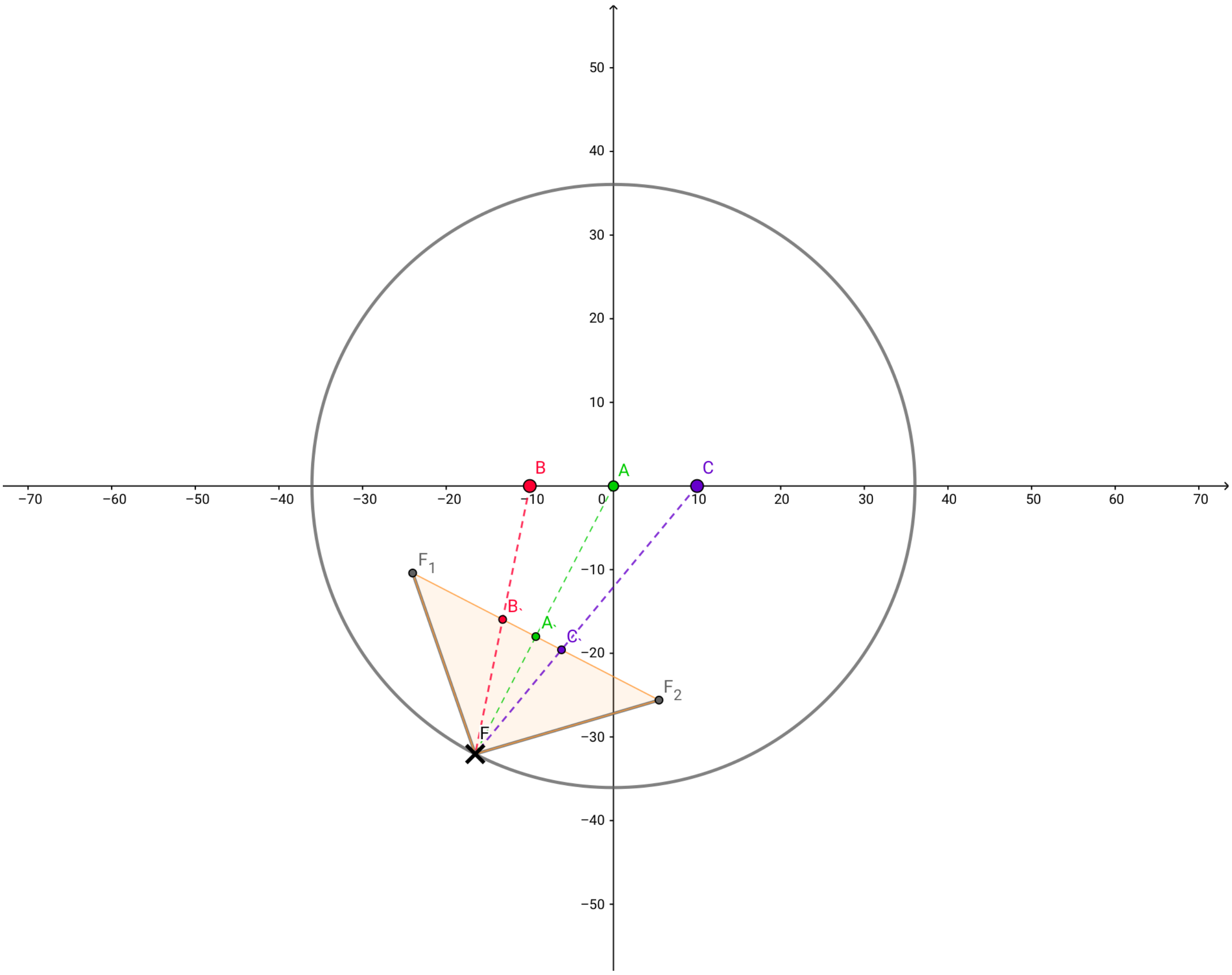


2. 定位方案优势

在浑浊等恶劣水域环境中，会给普通视觉方案造成很大影响。本方案可以实现在恶劣水域环境中远距离精确定位，以尽可能少的的视觉数据，计算出相对坐标。

3. 实现原理

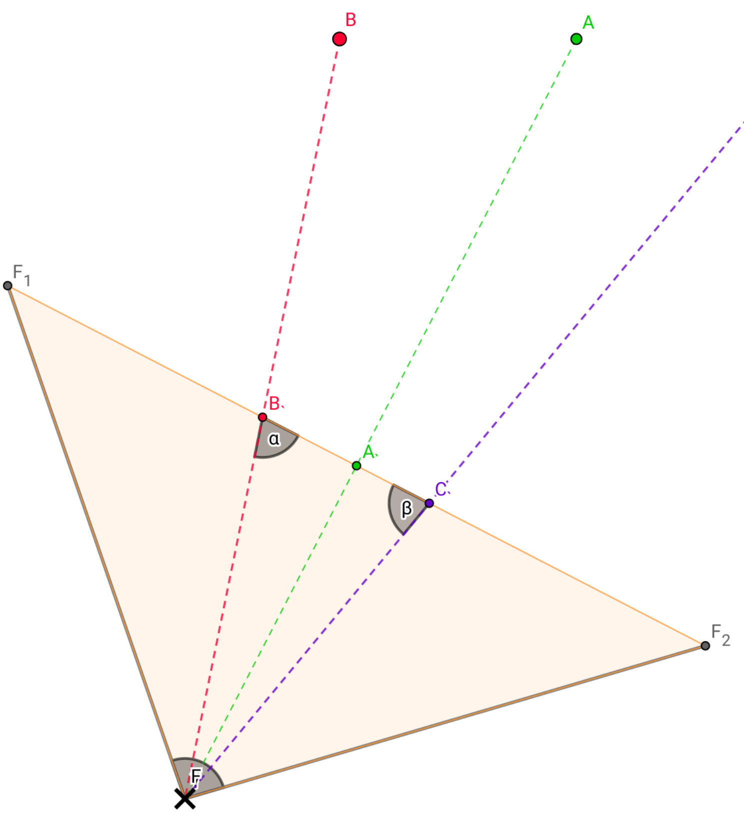
比如在实际情况中三根激光柱（红，绿，紫）的坐标 (-1,0), (0,0), (1,0)， 实际中以米作为单位。摄像头依靠舵机自矫正拍摄角度，画面始终保持以绿色光线作为画面中心（容错区暂设为 ± 20 像素）。捕获到画面经过一系列通道分离，阈值过滤，腐蚀等预处理操作后，主要是获取到 $A‘B‘$ 像素距离与 $A‘C‘$ 像素距离



（图中ΔFF_1F_2为摄像头可视范围，$A‘,B‘,C‘$三点为摄像头捕获三线的像素画面） (1)

4. 算法设计

4.1 虚拟像素三角的双线夹角 α, β 计算



> 已知摄像头拍摄视角 γ （如 90度） 已知拍摄画面横向像素值 $|F_1F_2|$ （如 1920 pixel） 可由图像处理获得像素长度 $|AB|, |AC|$ 求红线和紫线虚拟像素夹角 α, β

- 已知虚拟视觉三角比为等腰三角形，则两底角大小为：

$$\angle FF_1F_2 = \angle FF_2F_1 = \frac{\pi - \gamma}{2} \quad (2)$$

- 利用正切关系算出 α, β:

$$\tan\left(\frac{\pi - \gamma}{2}\right) = \frac{|A'F|}{\frac{1}{2}|F_1F_2|} \quad (3)$$

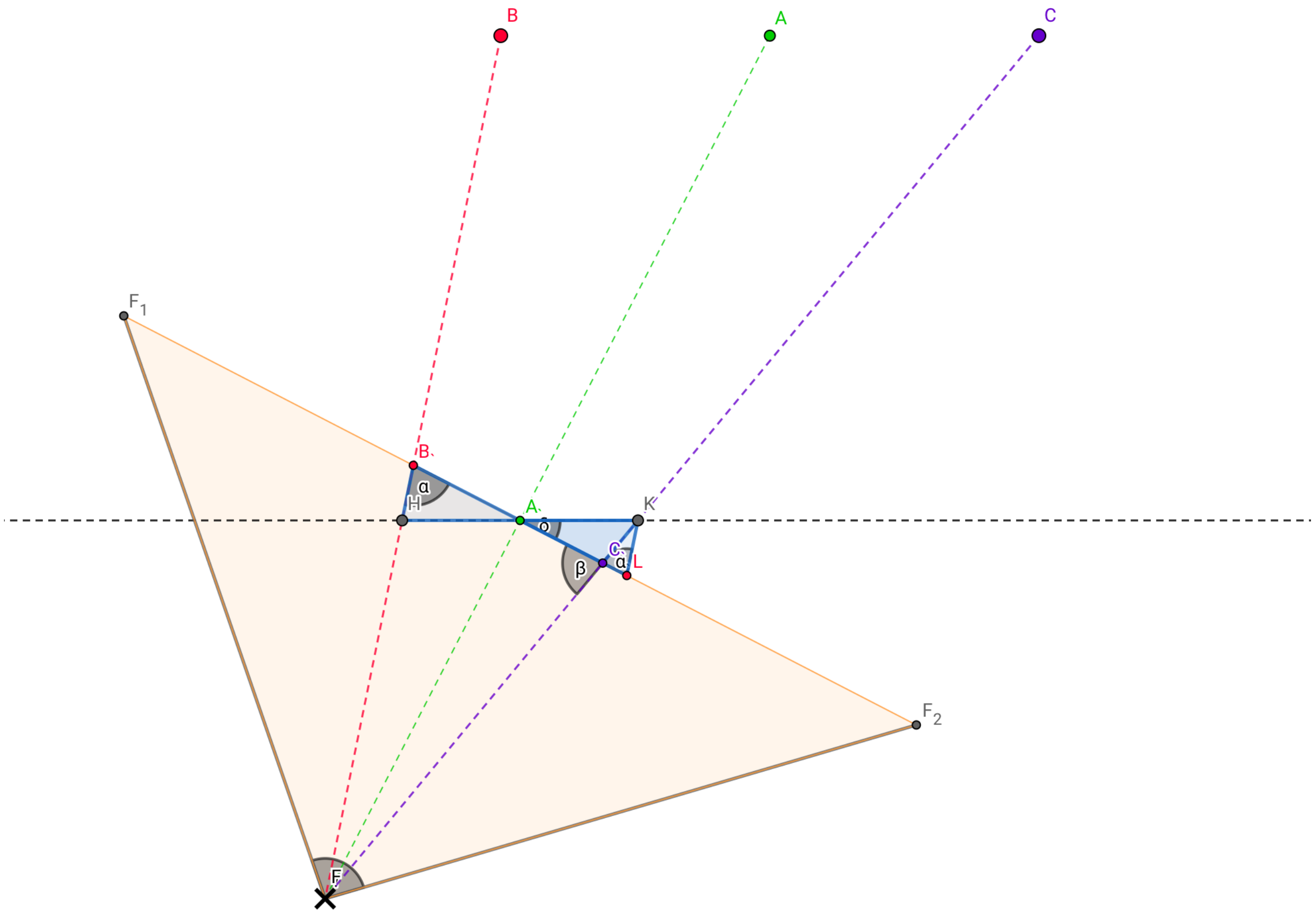
$$\tan\alpha = \frac{|A'F|}{|A'B'|} \quad (4)$$

$$\tan\beta = \frac{|A'F|}{|A'C'|} \quad (5)$$

$$\alpha = \arctan\frac{\frac{1}{2}|F_1F_2|\tan\left(\frac{\pi-\gamma}{2}\right)}{|A'B'|} \quad (6)$$

$$\beta = \arctan \frac{\frac{1}{2}|F_1F_2|\tan\frac{(\pi-\gamma)}{2})}{|A'C'|} \quad (7)$$

4.2 $A'F$ 与水平方向的夹角 δ 计算



- 过 K 作 $KL \parallel B'H$ 交 F_1F_2 于 L，根据正弦定理解 $\Delta C'KL$：

$$\frac{|A'B'|-|A'C'|}{\sin(\pi-\alpha-\beta)} = \frac{|C'K|}{\sin\alpha} = \frac{|KL|}{\sin\beta} \quad (8)$$

$$|C'K| = \frac{|A'B'|-|A'C'|}{\sin\left(\pi - \arctan\frac{\frac{1}{2}|F_1F_2|\tan\left(\frac{\pi-\gamma}{2}\right)}{|A'B'|} - \arctan\frac{\frac{1}{2}|F_1F_2|\tan\frac{(\pi-\gamma)}{2})}{|A'C'|}\right)}\sin\left(\arctan\frac{\frac{1}{2}|F_1F_2|\tan\left(\frac{\pi-\gamma}{2}\right)}{|A'B'|}\right) \quad (9)$$

$$|KL| = \frac{|A'B'|-|A'C'|}{\sin\left(\pi - \arctan\frac{\frac{1}{2}|F_1F_2|\tan\left(\frac{\pi-\gamma}{2}\right)}{|A'B'|} - \arctan\frac{\frac{1}{2}|F_1F_2|\tan\frac{(\pi-\gamma)}{2})}{|A'C'|}\right)}\sin\left(\arctan\frac{\frac{1}{2}|F_1F_2|\tan\frac{(\pi-\gamma)}{2})}{|A'C'|}\right)) \quad (10)$$

- 根据余弦定理解 $\Delta A'KC'$ 与 $\Delta A'KL$ 解得 δ:

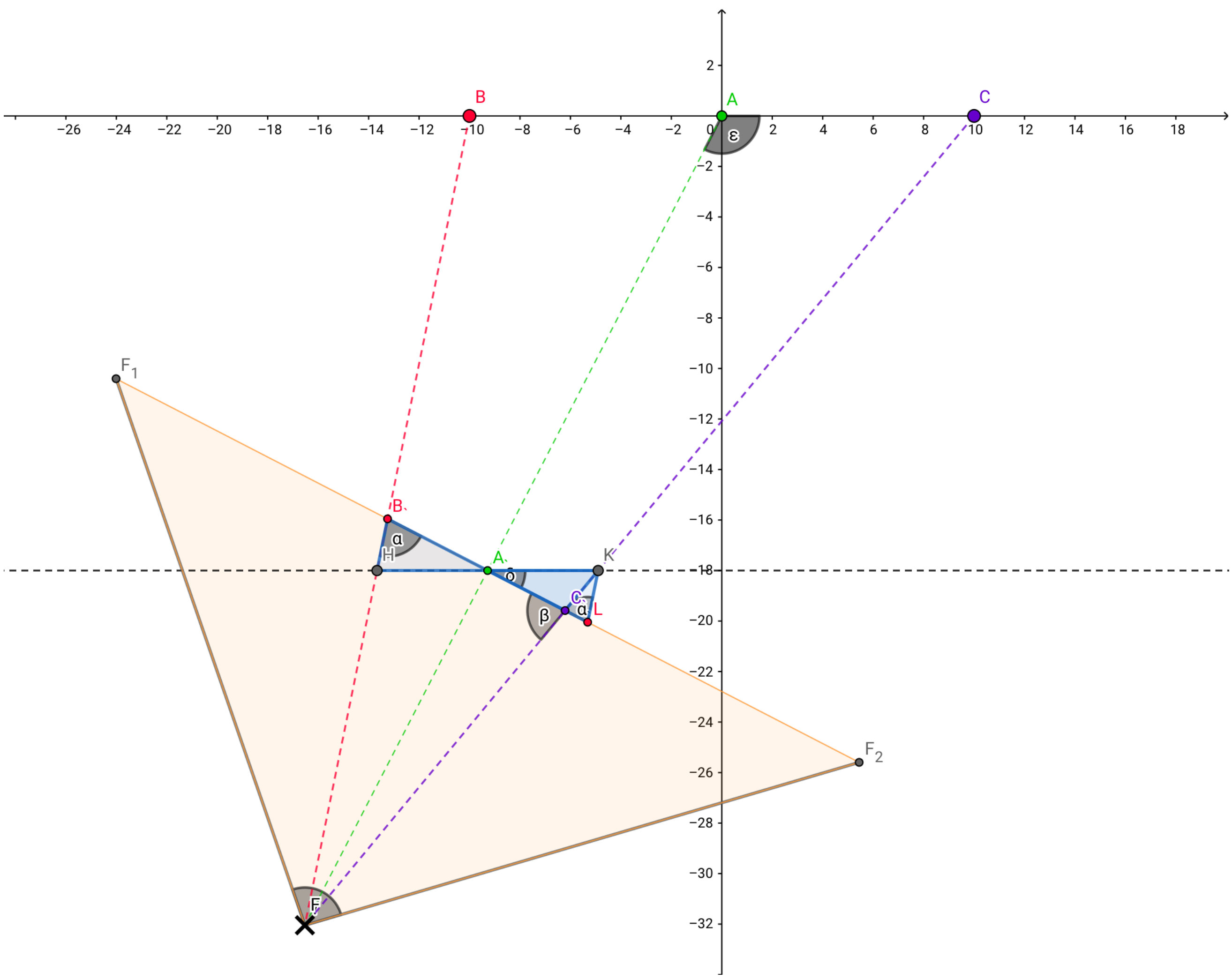
$$cos\delta = \frac{|A'K|^2 + |A'C'|^2 - |C'K|^2}{2|A'K||A'C'|} \quad (11)$$

$$cos\delta = \frac{|A'K|^2 + |A'L|^2 - |KL|^2}{2|A'K||A'L|} \quad (12)$$

- 联立解得:

$$\delta = \arccos\left(\frac{\frac{|A'C'|(|A'B'|^2 - |KL|^2) + |A'B'|(|C'K|^2 - |A'C'|^2)}{|A'B-'| - |A'C'|} + |A'C'|^2 - |C'K|^2}{2|A'K||A'C'|}\right) \quad (13)$$

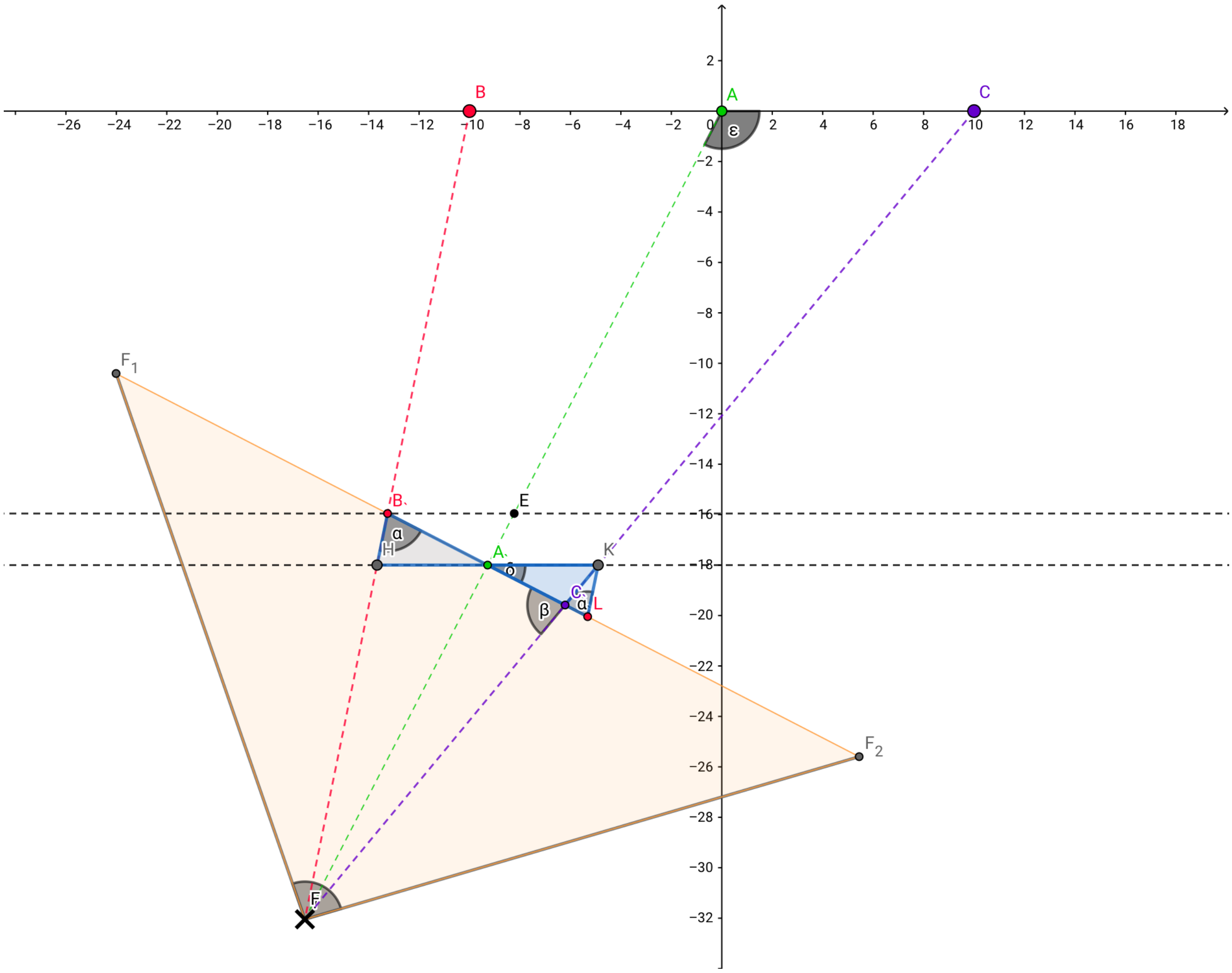
4.3 由所在象限确定 AF 与X轴正方向夹角 θ



- 以图第三象限为例

$$\varepsilon = \delta + \frac{\pi}{2} \quad (14)$$

4.4 虚拟像素空间与现实空间的相似变换



- 易得：

$$\angle B'EA' = \pi - \varepsilon \quad (15)$$

- 在 $Rt\Delta B'EA'$ 中，已知 $|A'B'|$ (经图像处理获得)，求虚拟像素距离 $|EF|$ 和 $|B'E|$ （*：此处单位为pixels）：

$$\begin{aligned} |EF| &= |A'F| + |A'E| && (16) \\ &= \frac{|F_1F_2|}{2}\tan\left(\frac{\pi-\gamma}{2}\right) + |A'B'|\cot\left(\pi-\varepsilon\right) && (17) \end{aligned}$$

$$|B'E| = |A'B'|\csc\left(\pi-\varepsilon\right) \quad (18)$$

- 已知 $|AB|$ (实际两光柱间距离，单位为: m)，根据 $\Delta ABF \sim \Delta EB'F$，进行虚拟像素空间与现实空间的相似变换，求 $|AF|$ （无人机与原点距离）：

$$\frac{|AF|}{|AB|} = \frac{|EF|}{|EB'|} \tag{19}$$

$$(\text{左 — 实际长度：}m \qquad \text{右 — 虚拟像素：}pixels)$$

$$|AF| = \frac{\left[\frac{1}{2}|F_1F_2|\tan\left(\frac{\pi-\gamma}{2}\right) + |A'B'|\cot\left(\pi-\varepsilon\right)\right]\cdot|AB|}{|A'B'|\csc\left(\pi-\varepsilon\right)} \tag{20}$$

5. 调试结果

经过一些仿真测试，在理想环境下（未考虑水域环境，拍摄情况），可以达到较为精准的相对坐标定位，输出无人机相对于绿色光柱 (0, 0) 的 (x, y) 坐标。

```
phi_1(向量与x轴正方向夹角) = 174.92039213998544
s(与原点距离) = 39.485892495191386
(x, y) = (-39.33081720779282, -3.4960726406926987)

phi_2(向量与x轴正方向夹角) = 168.69006752597977
s(与原点距离) = 17.74754878398193
(x, y) = (-17.402903378454567, -3.480580675690918)

phi_3(向量与x轴正方向夹角) = 161.07535558394875
s(与原点距离) = 10.624999999999996
(x, y) = (-10.050675675675672, -3.4459459459459474)

phi_4(向量与x轴正方向夹角) = 179.949070431625
s(与原点距离) = 282375.111115769
(x, y) = (-282374.99956023565, -250.99999960489316)
```