

# Sistema de Localização baseado em Wi-Fi FTM RTT

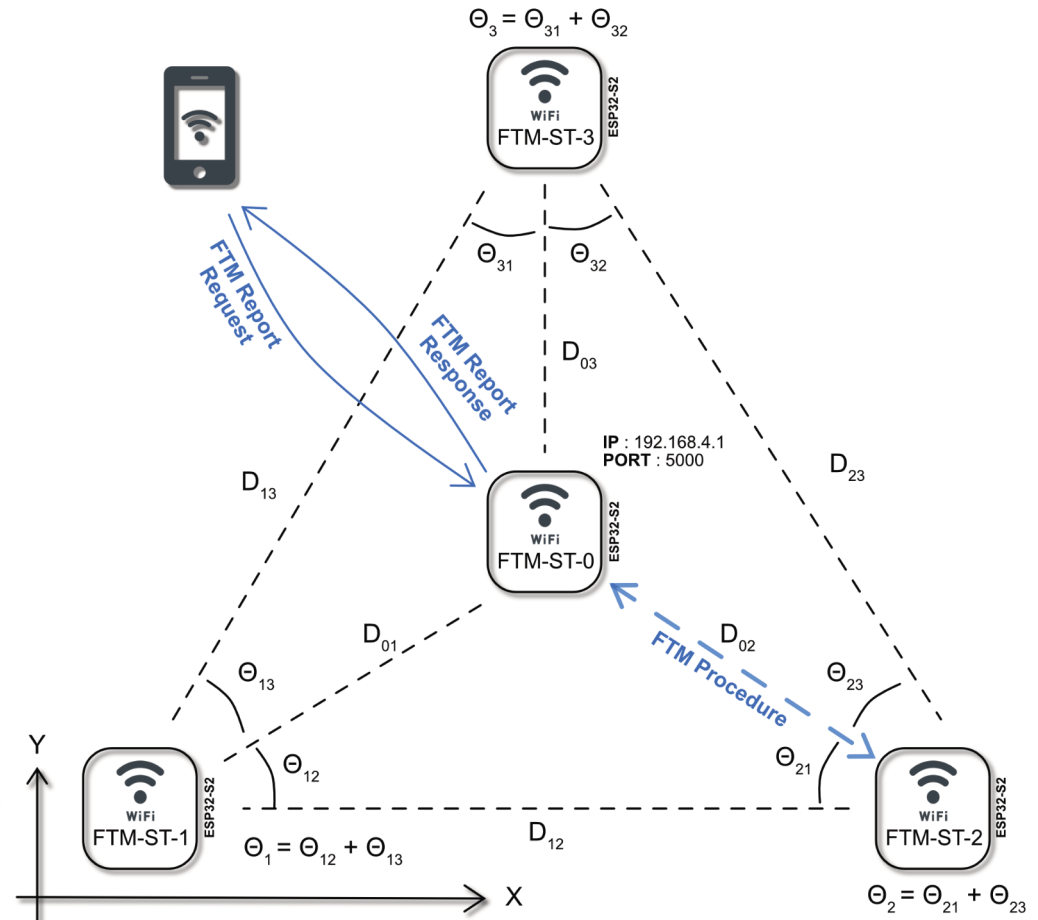
## Especificação do Problema

O problema a ser revolido formaliza-se como a seguir :  
determinar a posição (coordenadas X e Y) de uma estação  $ST_0$  (estação móvel), em relação às posições conhecidas de três estações de referência  $ST_1$ ,  $ST_2$  e  $ST_3$  (estações fixas).

O sistema de coordenadas atende às seguintes propriedades :

- A origem do sistema de coordenadas é a estação  $ST_1$ .
- O eixo X é paralelo ao segmento de reta definido pelas estações  $ST_0$  e  $ST_1$ .
- O eixo Y é, por construção, normal ao eixo X.

Através de medições FTM, obtêm-se as distâncias  $D_{01}$ ,  $D_{02}$ ,  $D_{03}$ ,  $D_{12}$ ,  $D_{13}$  e  $D_{23}$ . Tais valores são utilizados no cálculo dos ângulos de interesse ( $\Theta_{12}$ ,  $\Theta_{13}$  e  $\Theta_1$ ). O cálculo da posição da estação  $ST_0$  é obtido a partir desses valores de distâncias e ângulos.



## Solução Trigonométrica

A análise das relações trigonométricas nos triângulos  $\Delta ST_1ST_2ST_0$ ,  $\Delta ST_1ST_3ST_0$  e  $\Delta ST_1ST_2ST_3$  produz as seguintes equações de solução do problema proposto.

$$\sin(\Theta_{12}) = \frac{2}{(D_{01}D_{12})} \sqrt{s_{12}(s_{12}-D_{01})(s_{12}-D_{02})(s_{12}-D_{12})}, \quad s_{12} = \frac{1}{2}(D_{01}+D_{02}+D_{12})$$

$$\sin(\Theta_{13}) = \frac{2}{(D_{01}D_{13})} \sqrt{s_{13}(s_{13}-D_{01})(s_{13}-D_{03})(s_{13}-D_{13})}, \quad s_{13} = \frac{1}{2}(D_{01}+D_{03}+D_{13})$$

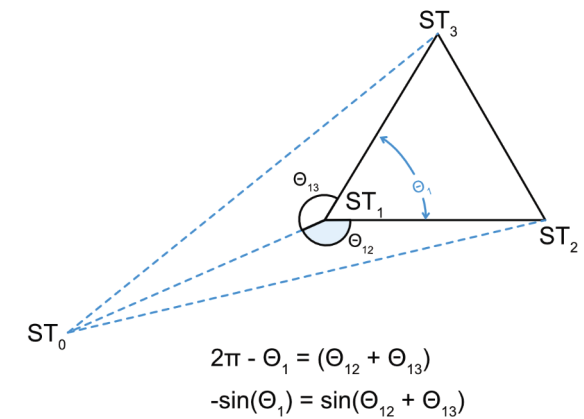
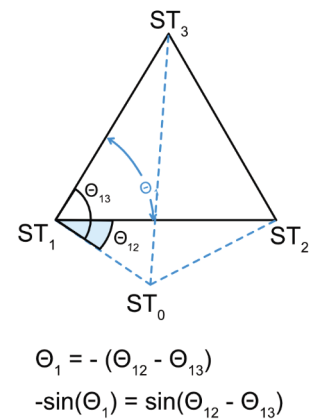
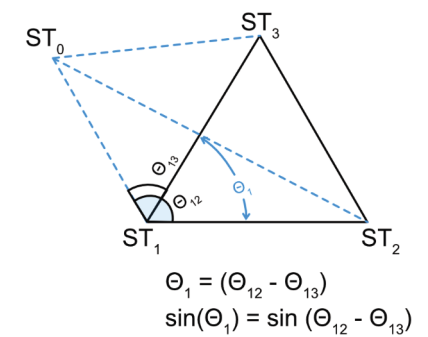
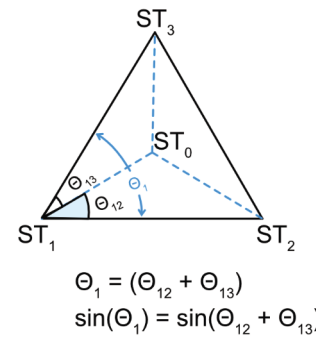
$$\sin(\Theta_1) = \frac{2}{(D_{12}D_{13})} \sqrt{s_1(s_1-D_{12})(s_1-D_{13})(s_1-D_{23})}, \quad s_1 = \frac{1}{2}(D_{12}+D_{13}+D_{23})$$

$$\cos(\Theta_{12}) = \frac{D_{01}^2 + D_{12}^2 - D_{02}^2}{2D_{01}D_{12}}$$

$$\cos(\Theta_{13}) = \frac{D_{01}^2 + D_{13}^2 - D_{03}^2}{2D_{01}D_{13}}$$

$$\cos(\Theta_1) = \frac{D_{12}^2 + D_{13}^2 - D_{23}^2}{2D_{12}D_{13}}$$

$$\sin(\Theta_{12} \pm \Theta_{13}) = \sin(\Theta_{12})\cos(\Theta_{13}) \pm \cos(\Theta_{12})\sin(\Theta_{13})$$



| Estação         | Coordenada X                     | Coordenada Y                             |
|-----------------|----------------------------------|--|
| ST <sub>0</sub> | $D_{01} \cdot \cos(\Theta_{12})$ | $K \cdot D_{01} \cdot \sin(\Theta_{12})$ |
| ST <sub>1</sub> | 0                                | 0  |
| ST <sub>2</sub> | $D_{12}$                         | 0  |
| ST <sub>3</sub> | $D_{13} \cdot \cos(\Theta_1)$    | $D_{13} \cdot \sin(\Theta_1)$            |

**K** pode assumir valores -1 ou +1, dependendo da posição relativa da estação **ST<sub>0</sub>** (em relação às estações de referência).

# Sistema de Localização baseado em Wi-Fi FTM RTT

## Medição FTM

A medição FTM pode ser realizada remotamente via TCP/IP, utilizando-se um smartphone ou PC como console de testes.



## EXEMPLO

### COMANDO "FTM por SSID":

```
{  
  "function" : "ftm" ,  
  "parameters" : { "ssid" : "FTM-ST-2" }  
};
```

### RESPOSTA:

Requesting FTM session with Frm Count - 8, Burst Period - 400mSec (0: No Preference)  
FTM Report:

| Diag | RTT   | T1            | T2            | T3            | T4            | RSSI |
|------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|------|
| 5    | 29687 | 3000247225000 | 4092711989062 | 4092839821875 | 3000375087500 | -43  |
| 6    | 31249 | 3002415250000 | 4094880048437 | 4094983821875 | 3002519054687 | -43  |
| 7    | 31250 | 3004631225000 | 4097096059375 | 4097199821875 | 3004735018750 | -43  |
| 8    | 31250 | 3006856250000 | 4099321118750 | 4099424821875 | 3006959984375 | -43  |
| 9    | 29687 | 3009089225000 | 4101554128125 | 4101657821875 | 3009192948437 | -43  |
| 10   | 32812 | 3011309250000 | 4103774190625 | 4103877821875 | 3011412914062 | -43  |
| 11   | 29687 | 3013542225000 | 4106007198437 | 4106110821875 | 3013645878125 | -43  |

Estimated RTT - 17 nSec, Estimated Distance - 2.60 meters

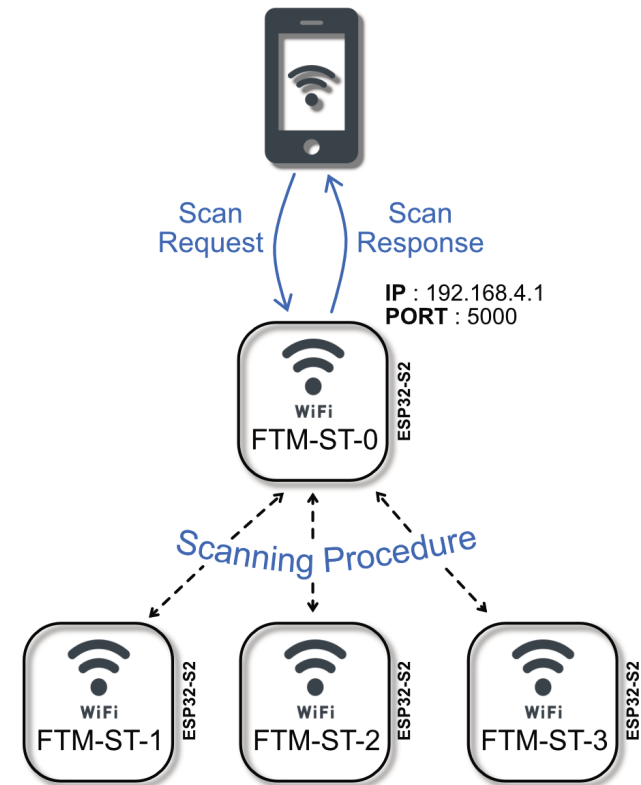
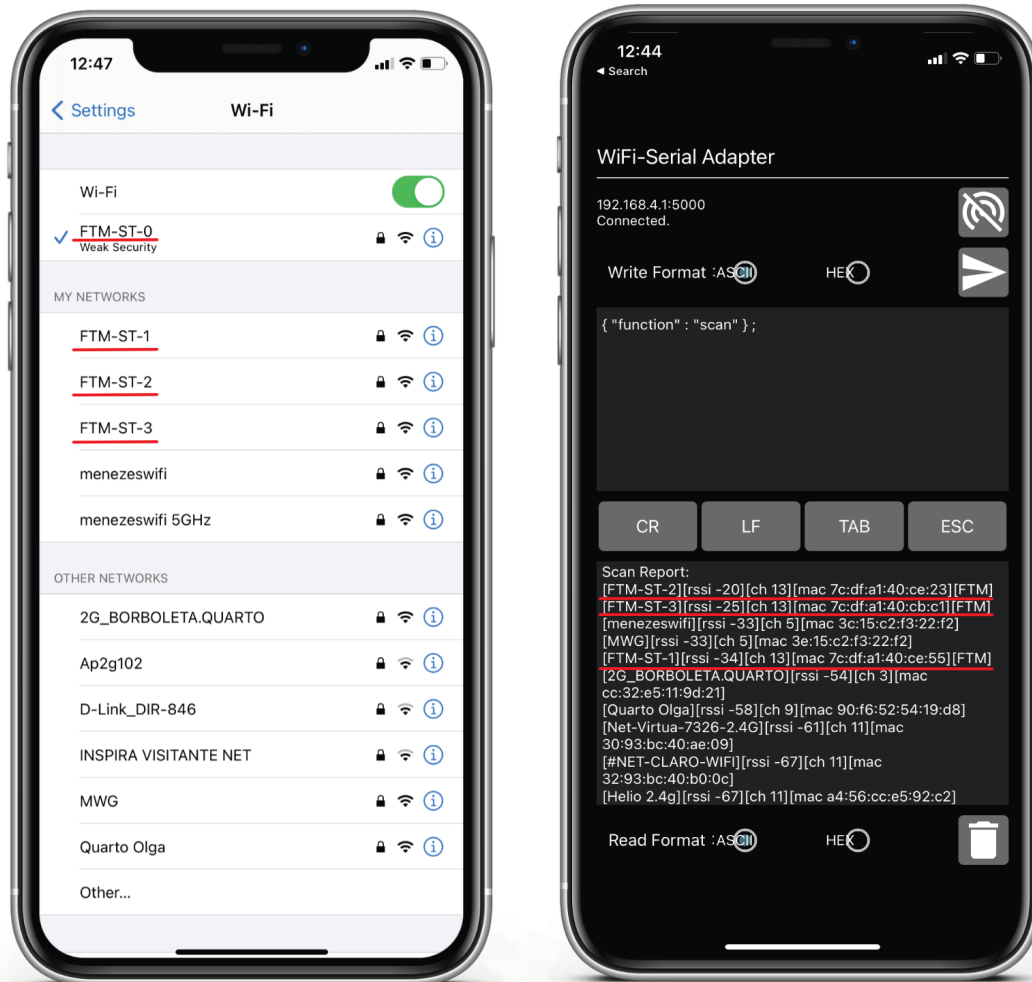
### COMANDO ALTERNATIVO ("FTM por MAC"):

```
{  
  "function" : "ftm" ,  
  "parameters" : { "mac" : "7c:df:a1:40:ce:23" , "channel" : 13 }  
};
```

# Sistema de Localização baseado em Wi-Fi FTM RTT

## Varredura (SCAN) de SSID

Pode-se obter a lista das estações WiFi próximas, utilizando-se um comando de varredura ("SCAN").





## EXEMPLO

### COMANDO "SCAN":

```
{  
  "function" : "scan"  
};
```

### RESPOSTA:

```
Scan Report:  
[FTM-ST-3][rssi -38][ch 13][mac 7c:df:a1:40:cb:c1][FTM]  
[FTM-ST-1][rssi -44][ch 13][mac 7c:df:a1:40:ce:55][FTM]  
[FTM-ST-2][rssi -48][ch 13][mac 7c:df:a1:40:ce:23][FTM]  
[MWG][rssi -50][ch 5][mac 3e:15:c2:f3:22:f2]  
[menezeswifi][rssi -50][ch 5][mac 3c:15:c2:f3:22:f2]  
[CLARO_2GAC9EC7][rssi -90][ch 11][mac 74:3a:ef:ac:9e:cc]  
[#NET-CLARO-WIFI][rssi -91][ch 9][mac a6:56:cc:e7:06:f4]  
sta scan done
```

### COMANDO ALTERNATIVO ("SCAN por SSID específico"):

```
{  
  "function" : "scan",  
  "parameters" : { "ssid" : "FTM-ST-1" }  
};
```

## EXPERIMENTO 1

O seguinte experimento foi realizado utilizando-se 1 placa **Franzininho WiFi** (como Estação 0) and 3 placas **ESP32-S2-DevKitM-1U** (como Estações 1, 2 and 3).

### WiFi Scanning ( a partir da Estação 0 )

```
{ "function" : "scan" } ;
```

#### Scan Report:

```
[FTM-ST-2][rssi -48][ch 4][mac 7c:df:a1:40:f0:89][FTM]
[FTM-ST-3][rssi -52][ch 4][mac 7c:df:a1:40:f1:35][FTM]
[FTM-ST-1][rssi -53][ch 4][mac 7c:df:a1:40:f0:bb][FTM]
[GuestCBand][rssi -71][ch 6][mac 92:78:38:0d:40:70]
[CB-WLan][rssi -71][ch 6][mac 90:72:40:0d:38:78]
[TP-LINK_AE493A][rssi -71][ch 7][mac 54:e6:fc:ae:49:3a]
[Paromed-Reuniao][rssi -71][ch 10][mac 58:d5:6e:ae:63:6e]
[Eduaro][rssi -71][ch 11][mac 8c:44:4f:5e:fd:48]
[TP-LINK_AE493A_EXT_EXT][rssi -74][ch 7][mac 60:32:b1:d8:11:e2]
[DADOLUGO][rssi -77][ch 1][mac 00:36:76:ef:c3:ee]
[FABIANA_2G][rssi -77][ch 1][mac 48:29:52:46:df:93]
[menezeswifi][rssi -79][ch 2][mac 24:a2:e1:f1:fb:74]
[Luiz por ai][rssi -79][ch 6][mac 94:ea:ea:35:0c:1b]
[CLARO_2G09CC98][rssi -80][ch 1][mac c8:5d:38:09:cc:a5]
[MWG][rssi -80][ch 2][mac 26:74:fb:f1:e1:a0]
[mizarura][rssi -81][ch 9][mac 78:54:2e:eb:e8:e4]
[CLARO_2G5F5D62][rssi -81][ch 11][mac 74:3a:ef:5f:5d:67]
[Celso][rssi -83][ch 4][mac c0:25:e9:87:fd:84]
[Joana_&_Aread][rssi -83][ch 3][mac 50:95:51:eb:a5:fb]
[Paromed-ADM][rssi -83][ch 5][mac 98:da:c4:a6:f4:3d]
[NCASANOVA2][rssi -83][ch 8][mac 68:ff:7b:6b:cf:2c]
[RAQUELECASSIO 2G][rssi -85][ch 8][mac 5c:e3:0e:18:c7:f3]
[DUDA][rssi -88][ch 6][mac d8:c6:78:75:32:50]
sta scan done
```

# Sistema de Localização baseado em Wi-Fi FTM RTT

## [D01] - Procedimento FTM entre STO e ST1

```
{ "function" : "ftm" , "parameters" : { "ssid" : "FTM-ST-1" } } ;
```

Requesting FTM session with Frm Count - 8, Burst Period - 400mSec (0: No Preference)

FTM Report:

| Diag | RTT    | T1            | T2            | T3            | T4            | RSSI |
|------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|------|
| 5    | 148438 | 5751264235937 | 6435549206250 | 6435677621875 | 5751392800000 | -55  |
| 6    | 148438 | 5753431235937 | 6437716250000 | 6437820621875 | 5753535756250 | -55  |
| 7    | 146875 | 5755666235937 | 6439951296875 | 6440055621875 | 5755770707812 | -55  |
| 8    | 150000 | 5757879235937 | 6442164343750 | 6442268621875 | 5757983664062 | -55  |
| 9    | 150000 | 5761315235937 | 6445600414062 | 6445704621875 | 5761419593750 | -55  |
| 10   | 148437 | 5762372235937 | 6446657435937 | 6446761621875 | 5762476570312 | -55  |
| 11   | 148437 | 5766173235937 | 6450458514062 | 6450562621875 | 5766277492187 | -55  |

Estimated RTT - 126 nSec, Estimated Distance - 19.00 meters

## [D02] - Procedimento FTM entre STO e ST2

```
{ "function" : "ftm" , "parameters" : { "ssid" : "FTM-ST-2" } } ;
```

Requesting FTM session with Frm Count - 8, Burst Period - 400mSec (0: No Preference)

FTM Report:

| Diag | RTT   | T1            | T2            | T3            | T4            | RSSI |
|------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|------|
| 5    | 93750 | 3395314028125 | 5263764890625 | 5263893021875 | 3395442253125 | -50  |
| 6    | 92187 | 3397849028125 | 5266299939062 | 5266404021875 | 3397953203125 | -50  |
| 7    | 93750 | 3399730028125 | 5268180975000 | 5268285021875 | 3399834168750 | -50  |
| 8    | 93749 | 3401945028125 | 5270396017187 | 5270500021875 | 3402049126562 | -50  |
| 9    | 93750 | 3404153053125 | 5272604084375 | 5272708021875 | 3404257084375 | -50  |
| 10   | 92187 | 3409366028125 | 5277817157812 | 5277921021875 | 3409469984375 | -50  |
| 11   | 92187 | 3409710053125 | 5278161189062 | 5278265021875 | 3409813978125 | -50  |

Estimated RTT - 71 nSec, Estimated Distance - 10.79 meters

# Sistema de Localização baseado em Wi-Fi FTM RTT

## [D03] - Procedimento FTM entre ST0 e ST3

```
{ "function" : "ftm" , "parameters" : { "ssid" : "FTM-ST-3" } } ;
```

Requesting FTM session with Frm Count - 8, Burst Period - 400mSec (0: No Preference)

FTM Report:

| Diag | RTT    | T1            | T2           | T3           | T4            | RSSI |
|------|--------|---------------|--------------|--------------|---------------|------|
| 5    | 110937 | 5628437225000 | 789603098437 | 789731421875 | 5628565659375 | -53  |
| 6    | 110937 | 5629813225000 | 790979125000 | 791083421875 | 5629917632812 | -53  |
| 7    | 109375 | 5634044225000 | 795210212500 | 795314421875 | 5634148543750 | -53  |
| 8    | 110937 | 5634397225000 | 795563220312 | 795667421875 | 5634501537500 | -53  |
| 9    | 109374 | 5636451225000 | 797617260937 | 797721421875 | 5636555495312 | -53  |
| 10   | 110937 | 5638702225000 | 799868307812 | 799972421875 | 5638806450000 | -53  |
| 11   | 110937 | 5640927225000 | 802093353125 | 802197421875 | 5641031404687 | -53  |

Estimated RTT - 86 nSec, Estimated Distance - 13.00 meters

## [D12] - Procedimento FTM entre ST1 e ST2

```
{ "function" : "ftm" , "parameters" : { "ssid" : "FTM-ST-2" } } ;
```

Requesting FTM session with Frm Count - 8, Burst Period - 400mSec (0: No Preference)

FTM Report:

| Diag | RTT    | T1            | T2            | T3            | T4            | RSSI |
|------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|------|
| 5    | 189063 | 2981038028125 | 4164481709375 | 4164609635937 | 2981166143750 | -58  |
| 6    | 185938 | 2983668028125 | 4167111700000 | 4167215635937 | 2983772150000 | -59  |
| 7    | 184375 | 2985425028125 | 4168868696875 | 4168972635937 | 2985529151562 | -59  |
| 8    | 182812 | 2987650028125 | 4171093692187 | 4171197635937 | 2987754154687 | -58  |
| 9    | 185937 | 2989866053125 | 4173309714062 | 4173413635937 | 2989970160937 | -58  |
| 10   | 181250 | 2993437028125 | 4176880676562 | 4176984635937 | 2993541168750 | -58  |
| 11   | 185937 | 2994336028125 | 4177779679687 | 4177883635937 | 2994440170312 | -58  |

Estimated RTT - 151 nSec, Estimated Distance - 22.70 meters

# Sistema de Localização baseado em Wi-Fi FTM RTT

## [D13] - Procedimento FTM entre ST1 e ST3

```
{ "function" : "ftm" , "parameters" : { "ssid" : "FTM-ST-3" } } ;
```

Requesting FTM session with Frm Count - 8, Burst Period - 400mSec (0: No Preference)

FTM Report:

| Diag | RTT   | T1            | T2            | T3            | T4            | RSSI |
|------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|------|
| 5    | 73438 | 1858660825000 | 3045428056250 | 3045556035937 | 1858788878125 | -47  |
| 6    | 73438 | 1860828825000 | 3047596056250 | 3047700035937 | 1860932878125 | -47  |
| 7    | 73438 | 1863466825000 | 3050234056250 | 3050338035937 | 1863570878125 | -47  |
| 8    | 75000 | 1868254825000 | 3055022057812 | 3055126035937 | 1868358878125 | -47  |
| 9    | 75000 | 1868585850000 | 3055353082812 | 3055457035937 | 1868689878125 | -47  |
| 10   | 73437 | 1871829825000 | 3058597057812 | 3058701035937 | 1871933876562 | -47  |
| 11   | 73437 | 1872155850000 | 3058923082812 | 3059027035937 | 1872259876562 | -47  |

Estimated RTT - 54 nSec, Estimated Distance - 8.19 meters

## [D23] - Procedimento FTM entre ST2 e ST3

```
{ "function" : "ftm" , "parameters" : { "ssid" : "FTM-ST-3" } } ;
```

Requesting FTM session with Frm Count - 8, Burst Period - 400mSec (0: No Preference)

FTM Report:

| Diag | RTT    | T1            | T2            | T3            | T4            | RSSI |
|------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|------|
| 5    | 128125 | 6123837425000 | 6127349743750 | 6127478028125 | 6123965837500 | -52  |
| 6    | 128124 | 6126014425000 | 6129526748437 | 6129631028125 | 6126118832812 | -52  |
| 7    | 126562 | 6128239425000 | 6131751751562 | 6131856028125 | 6128343828125 | -52  |
| 8    | 124999 | 6130473425000 | 6133985754687 | 6134090028125 | 6130577823437 | -52  |
| 9    | 126562 | 6132689425000 | 6136201759375 | 6136306028125 | 6132793820312 | -52  |
| 10   | 126562 | 6135078425000 | 6138590762500 | 6138695028125 | 6135182817187 | -52  |
| 11   | 126562 | 6138412425000 | 6141924768750 | 6142029028125 | 6138516810937 | -52  |

Estimated RTT - 112 nSec, Estimated Distance - 16.80 meters

## Estimativa das Coordenadas [ X, Y ]

Um script Python foi criado para calcular as coordenadas [ X, Y ] a partir das distâncias medidas por FTM. O script está localizado na pasta “[simulation](#)” do repositório [github](#). ( <https://github.com/cezmen/chronos> ).

|                     | VARIÁVEL | DISTÂNCIA (m) |
|---------------------|----------|---------------|
| FTM entre STO e ST1 | D01      | 19.00         |
| FTM entre STO e ST2 | D02      | 10.79         |
| FTM entre STO e ST3 | D03      | 13.00         |
| FTM entre ST1 e ST2 | D12      | 22.70         |
| FTM entre ST1 e ST3 | D13      | 8.19          |
| FTM entre ST2 e ST3 | D23      | 16.80         |

```
./ftm_math.py distances -d01 19.00 -d02 10.79 -d03 13.00 -d12 22.70 -d13 8.19 -d23 16.80
```

```
Simulation Mode: distances
```

```
Cosines and Sines:
```

```
cos_theta_12= 0.881 sin_theta_12= 0.473  
cos_theta_13= 0.832 sin_theta_13= 0.554  
cos_theta_1= 0.807 sin_theta_1= 0.590
```

```
Angles:
```


```
theta_12= 28.2 degrees  
theta_13= 33.6 degrees  
theta_1= 36.2 degrees
```

```
Signal Estimation (K):
```

```
Index= 0 Min Error= 2.918e-01 K= 1.0
```

```
X,Y Coordinates Estimation:
```

```
ST0 : [ 16.7 , 9.0 ]  
ST1 : [ 0.0 , 0.0 ]  
ST2 : [ 22.7 , 0.0 ]  
ST3 : [ 6.6 , 4.8 ]
```



# Sistema de Localização baseado em Wi-Fi FTM RTT

## Configuração de Teste

