

# NGHIÊN CỨU CẢI THIỆN ĐỘ CHÍNH XÁC TRONG KỸ THUẬT ĐỊNH VỊ TOA VÀ AOA

Nguyễn Hồng Thủy, Trần Cao Hiên  
Cục Kỹ thuật nghiệp vụ - Bộ Công an

**Tóm tắt:** Có nhiều phương pháp (kỹ thuật) định vị thiết bị di động khác nhau. Trong đó, có hai kỹ thuật được ứng dụng rộng rãi là kỹ thuật tính toán thời gian đến của tín hiệu từ các trạm gốc phục vụ thiết bị di động (Time of Arrival Positioning Technique - TOA) và kỹ thuật tính toán góc đến của tín hiệu từ các trạm gốc phục vụ thiết bị di động (Angle of Arrival Positioning Technique - AOA). Hai kỹ thuật này đều tính toán các tham số liên quan giữa trạm gốc (BTS/NodeB/eNodeB) và thiết bị di động (MS/UE/TE) để xác định vị trí của thiết bị di động. Các thuật toán tính toán để xác định vị trí (định vị) của thiết bị di động dùng hai kỹ thuật trên đã được nghiên cứu, công bố và có thể tìm thấy trên Internet. Tuy nhiên, trong quá trình ứng dụng các thuật toán đó để lập trình bài toán định vị, có nhiều nguyên nhân khác nhau dẫn đến vị trí tính toán được trên hệ tọa độ địa lý (với không gian 3 chiều) là khó tính toán hoặc không chính xác. Bên cạnh đó, trong thực tế, do sai số của các phép đo nên bài toán định vị có thể tính toán ra nhiều kết quả, đặc biệt, với môi trường mạng di động hỗn hợp 2G, 3G, 4G-LTE như hiện nay. Do vậy, bài báo này trình bày việc nghiên cứu, phân tích và đề xuất một thuật toán mở rộng để cải thiện độ chính xác trong kỹ thuật định vị di động TOA và AOA.

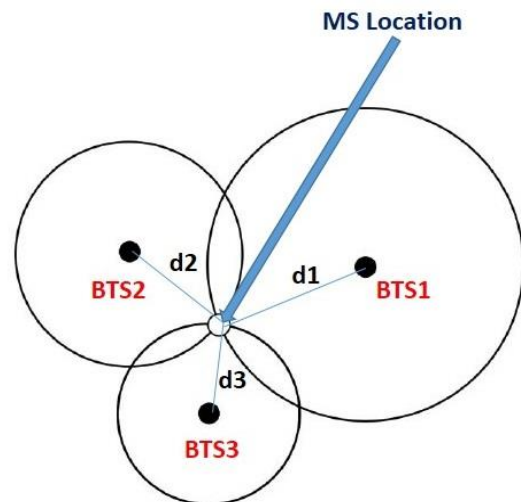
**Từ khóa:** Định vị di động, TOA, AOA, hệ tọa độ địa lý, không gian 3 chiều, sai số của phép đo, vị trí chính xác của thiết bị di động, 4G-LTE.

## I. GIỚI THIỆU CHUNG

Hai kỹ thuật định vị TOA và AOA đều lấy các tham số liên quan giữa trạm gốc và thiết bị di động để tính toán vị trí của thiết bị di động, trong đó, một tham số cơ sở là số nhận dạng của cell di động (CellID – CID). Do vậy, hai kỹ thuật này có thể viết tắt là Cell ID - Time of Arrival (CID-TOA) và Cell ID - Angle of Arrival (CID-AOA).

*Nguyên lý kỹ thuật định vị CID-TOA:*

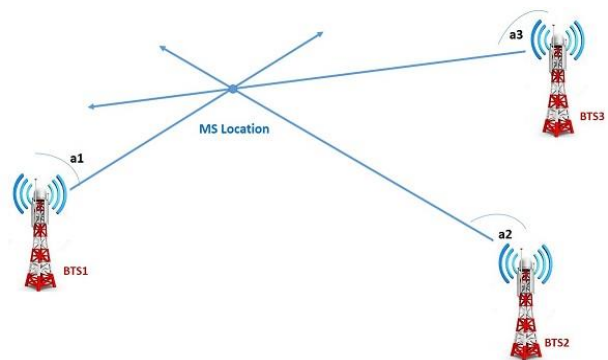
Giả sử thiết bị di động (MS) có 3 trạm gốc phục vụ và khoảng cách giữa các trạm gốc và thiết bị di động lần lượt là  $d_1, d_2, d_3$  thì tọa độ của thiết bị di động được xác định tại giao điểm của 3 vòng tròn có tâm tại các tọa độ của trạm gốc và có bán kính  $d_1, d_2, d_3$ .



Hình 1. Mô tả nguyên lý kỹ thuật định vị CID-TOA

*Nguyên lý kỹ thuật định vị CID-AOA:*

Giả sử thiết bị di động có 3 trạm gốc phục vụ và góc giữa 3 trạm gốc đến thiết bị di động lần lượt là  $a_1, a_2, a_3$  thì tọa độ của thiết bị di động được xác định tại điểm giao nhau của 3 vector có gốc tại các trạm gốc và hướng của chúng tạo với phương thẳng đứng các góc  $a_1, a_2, a_3$ .



Hình 2. Mô tả nguyên lý kỹ thuật định vị CID-AOA

Qua nghiên cứu, tham khảo, tất cả các tài liệu về các nguyên lý kỹ thuật định vị nói trên chỉ tiếp cận vấn đề có tính chất tư tưởng giải thuật và lý thuyết, nguyên lý chung, mà không trình bày chi tiết từng bước cách xác định tọa độ của thiết bị di động và không bao giờ có một công thức chung tính toán, xác định tọa độ của thiết bị di động. Do đó, khi áp dụng các nguyên lý kỹ thuật định vị trên, cần thiết phải nghiên cứu xây dựng một thuật toán tính toán tọa độ của thiết bị di động. Và thuật toán đó tính toán được tọa độ của thiết bị di động một cách chính xác thì bài toán định vị mới có ý nghĩa.

Tác giả liên hệ: Nguyễn Hồng Thủy,  
Email: [ferrari.nguyenthuy@gmail.com](mailto:ferrari.nguyenthuy@gmail.com)  
Đến tòa soạn: 03/9/2022, chỉnh sửa: 02/11/2022, chấp nhận đăng: 31/11/2022.

**II. NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG THUẬT TOÁN**

Bản chất của thuật toán định vị nói trên chính là việc tính toán xác định tọa độ điểm cắt nhau của các vòng tròn trong hệ tọa độ địa lý (Geographic Coordinates), không gian 3 chiều (3D). Việc xác định tọa độ các điểm cắt nhau của các vòng tròn trong không gian 2 chiều thì dễ dàng thực hiện bằng toán học. Nhưng ở đây, bài toán cần thiết là tính toán trong hệ tọa độ địa lý với không gian 3 chiều. Nó sẽ có nhiều khó khăn và cần nghiên cứu, cải tiến để tìm ra thuật toán tối ưu.

Trong không gian 3 chiều cũng như hệ tọa độ địa lý, nếu các vòng tròn có bán kính bằng nhau, Google đã cung cấp hàm lập trình trên JavaScrip để xác định tọa độ điểm cắt nhau. Tuy nhiên, đối với trường hợp các vòng tròn có bán kính khác nhau thì hàm của Google không có kết quả và không sử dụng được. Bài toán cần xử lý là trong trường hợp bán kính các vòng tròn khác nhau. Để giải quyết bài toán tìm tọa độ điểm cắt nhau của các vòng tròn mà bán kính khác nhau trong hệ tọa độ địa lý, chúng tôi đã tham khảo nhiều nguồn tài liệu trên Internet, nhưng cho kết quả không chính xác.

Nội dung dưới đây minh họa việc sử dụng một thuật toán công bố trên Internet cho việc xác định tọa độ điểm cắt nhau của các vòng tròn hệ tọa độ địa lý mà bán kính khác nhau đã cho kết quả không chính xác.

**Nội dung thuật toán:**

**\* Đầu vào:**

- Vòng tròn thứ nhất: Tâm là điểm P1 = (lat1/lon1), bán kính R1.

- Vòng tròn thứ hai: Tâm là điểm P2 = (lat2/lon2), bán kính R2.

Trong đó lat1/lon1, lat2/lon2 lần lượt là vĩ độ/kinh độ của điểm P1, P2. Các bán kính của 2 vòng tròn R1, R2 được đo dọc theo hình cầu, có đơn vị đo là hải lý (NM-nautical mile), là độ dài cung kinh tuyến tương ứng với 1' (1/60 của 1 độ).

**\* Đầu ra:** Tọa độ (vĩ độ/kinh độ) các điểm cắt nhau của 2 đường tròn trên bề mặt trái đất.

**\* Thuật toán:**

- **Bước 1.** Chuyển đổi vĩ độ/kinh độ (lat/lon) của P1, P2 sang tọa độ địa tâm (là hệ tọa độ trong đó trái đất được mô hình hóa dưới dạng hình cầu trong không gian 3 chiều xyz, trục x chỉ kinh tuyến gốc, trục y chỉ hướng 90 độ trong mặt phẳng xích đạo, trục z chỉ hướng Bắc cực):

Giả sử x1 = (x11, x12, x13) và x2 = (x21, x22, x23) là tọa độ của các điểm P1, P2 trong hệ tọa độ địa tâm. Khi đó:

$$x11 = \cos(lon1) * \cos(lat1)$$

$$x12 = \sin(lon1) * \cos(lat1)$$

$$x13 = \sin(lat1)$$

$$x21 = \cos(lon2) * \cos(lat2)$$

$$x22 = \sin(lon2) * \cos(lat2)$$

$$x23 = \sin(lat2)$$

- **Bước 2.** Biến đổi bán kính R1, R2 (được đo dọc hình cầu - đơn vị NM) sang dạng các góc r1, r2 (được đo dọc theo hình cầu - đơn vị radian).

$$r1 = (\pi/180) * (1/60) * R1 = 0.0002908888 * R1 \text{ (radian);}$$

$$r2 = (\pi/180) * (1/60) * R2 = 0.0002908888 * R2 \text{ (radian).}$$

- **Bước 3.** Xác định tọa độ điểm x0 nằm trên giao tuyến của 2 mặt phẳng chứa 2 đường tròn ban đầu, sao cho x0 là tổ hợp tuyến tính của x1 và x2 (x0 = a\*x1 + b\*x2).

- Tính tích vô hướng của x1 và x2: q = x11\*x21 + x12\*x22 + x13\*x23

- Tính các hệ số a, b:

$$a = (\cos(r1) - \cos(r2)*q)/(1-q^2)$$

$$b = (\cos(r2) - \cos(r1)*q)/(1-q^2)$$

- Tính x0 (có tọa độ địa tâm (x01, x02, x03))

$$x0 = a*x1 + b*x2$$

$$x0 = a*(x11, x12, x13) + b*(x21, x22, x23)$$

$$x0 = (a*x11 + b*x21, a*x12 + b*x22, a*x13 + b*x23)$$

Do đó:

$$x01 = a*x11 + b*x21$$

$$x02 = a*x12 + b*x22$$

$$x03 = a*x13 + b*x23.$$

- **Bước 4.** Xác định tích có hướng n (có tọa độ địa tâm (n1, n2, n3)) của x1 và x2: n = x1 ~ Cross ~ x2

$$n = (x12*x23 - x13*x22, x13*x21 - x11*x23, x11*x22 - x12*x21)$$

Do đó:

$$n1 = x12*x23 - x13*x22$$

$$n2 = x13*x21 - x11*x23$$

$$n3 = x11*x22 - x12*x21.$$

- **Bước 5.** Tìm 2 điểm cắt nhau C1, C2 của 2 đường tròn có dạng x0 + t\*n nằm trên bề mặt trái đất, độ dài của chúng bằng 1.

Có 2 tham số t thỏa mãn:

$$t1 = + \text{sqrt}((1-x0.x0)/n.n)$$

$$t2 = - \text{sqrt}((1-x0.x0)/n.n)$$

Trong đó x0.x0 là tích vô hướng của x0 và chính nó, n.n là tích vô hướng của n và chính nó, được xác định như sau:

$$x0.x0 = x01*x01 + x02*x02 + x03*x03$$

$$n.n = n1*n1 + n2*n2 + n3*n3$$

Khi đó:

$$C1 \text{ có tọa độ địa tâm: } c1 = x0 + t1*n = (x01 + t1*n1, x02 + t1*n2, x03 + t1*n3)$$

$$C2 \text{ có tọa độ địa tâm: } c2 = x0 + t2*n = (x01 + t2*n1, x02 + t2*n2, x03 + t2*n3)$$

**-Bước 6.** Biến đổi các kết quả tìm được trở lại dạng (lat/lon) bằng cách chuyển tọa độ địa tâm sang tọa độ có vĩ độ và kinh độ bằng công thức sau:

$$\text{Lon}(C1) = \text{ArcTan}\{(x02 + t1*n)/(x01 + t1*n)\}$$

$$\text{Lat}(C1) = \text{ArcTan}\{(x03 + t1*n)/\sqrt{[x01 + t1*n]^2 + [x02 + t1*n]^2}\}$$

$$\text{Lon}(C2) = \text{ArcTan}\{(x02 + t2*n)/(x01 + t2*n)\}$$

$$\text{Lat}(C2) = \text{ArcTan}\{(x03 + t2*n)/\sqrt{[x01 + t2*n]^2 + [x02 + t2*n]^2}\}$$

Cuối cùng ta chuyển đơn vị đo vĩ độ/kinh độ của các điểm cắt nhau giữa 2 đường tròn vừa tìm được trên đây từ radian sang độ.

Dựa vào thuật toán trên chúng ta lập trình trên ngôn ngữ Rcode để Test tính chính xác.

**\* Dữ liệu đầu vào:**

- Trạm gốc 1 có tọa độ (20.88876687434, 105.85967987796),  $r1=18.1113814051826$  mét.

- Trạm gốc 2 có tọa độ (20.88835585917, 105.85952321043),  $r2=37.7784535129566$  mét.

**\*Code chương trình:**

```
deg2rad <- function(deg) {
```

```
rad <- deg*pi/180
```

```
return(rad)
```

```
}
```

```
rad2deg <- function(rad) {
```

```
deg <- rad*180/pi
```

```
return(deg)
```

```
}
```

```
P1 <- c(20.88876687434, 105.85967987796)
```

```
P2 <- c(20.88835585917, 105.85952321043)
```

```
#1 R in Meter => NM=> Radian
```

```
R1 <- 18.1113814051826
```

```
R2 <- 37.7784535129566
```

```
x1 <- c(
```

```
cos(deg2rad(P1[2])) * cos(deg2rad(P1[1])),
```

```
sin(deg2rad(P1[2])) * cos(deg2rad(P1[1])),
```

```
sin(deg2rad(P1[1])));
```

```
x2 <- c(
```

```
cos(deg2rad(P2[2])) * cos(deg2rad(P2[1])),
```

```
sin(deg2rad(P2[2])) * cos(deg2rad(P2[1])),
```

```
sin(deg2rad(P2[1]))
```

```
);
```

```
paste(x1)
```

```
paste(x2)
```

```
r1 <- R1 *0.000539957*0.0002908888
```

```
r2 <- R2 *0.000539957* 0.0002908888
```

```
paste(r1)
```

```
paste(r2)
```

```
q <- x1[1]*x2[1]+x1[2]*x2[2]+x1[3]*x2[3]
```

```
a <- (cos(r1) - cos(r2) * q)/(1 - q^2)
```

```
b <- (cos(r2) - cos(r1) * q)/(1 - q^2)
```

```
paste(q)
```

```
paste(a)
```

```
paste(b)
```

```
m1 <- x1[2]*x2[3]
```

```
n1 <- x1[3]*x2[2]
```

```
u1 <- m1-n1;
```

```
#paste(u1)
```

```
m2 <- x1[3]*x2[1]
```

```
n2 <- x1[1]*x2[3]
```

```
u2 <- m2-n2
```

```
#paste(u1)
```

```
m3 <- x1[1]*x2[2]
```

```
n3 <- x1[2]*x2[1]
```

```
u3 <- m3-n3
```

```
#paste(u3)
```

```
n <- c(u1,u2,u3)
```

```
paste(n)
```

```
t1 <- c(a*x1[1],a*x1[2],a*x1[3])
```

```
paste(t1)
```

```
t2 <- c(b*x2[1],b*x2[2],b*x2[3])
```

```
x0 <- c(t1[1]+t2[1],t1[2]+t2[2],t1[3]+t2[3])
```

```
paste(x0)
```

```
d1 <- x0[1] * x0[1] +x0[2]*x0[2] + x0[3]*x0[3]
```

```
d2 <- n[1] * n[1] +n[2]*n[2] + n[3]*n[3]
```

```
t <- sqrt((1 -d1)/d2)
```

```
paste(t)
```

```
tn <- c(n[1]*t,n[2]*t,n[3]*t)
```

```
point1 <- c(x0[1]+tn[1],x0[2]+tn[2],x0[3]+tn[3])
```

```
point2 <- c(x0[1]-tn[1],x0[2]-tn[2],x0[3]-tn[3])
```

```
paste(point1)
```

```
paste(point2)
```

```
lat1 = rad2deg(atan2(point1[2] ,point1[1]))
```

```
lon1= rad2deg(asin(point1[3]))
```

```
paste(lat1, lon1, sep=",")
```

```
lat2 = rad2deg(atan2(point2[2] ,point2[1]))
```

$lon2 = rad2deg(asin(point2[3]))$

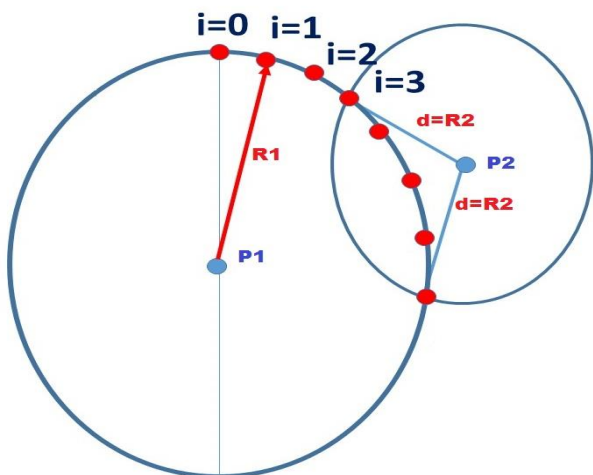
$paste(lat2, lon2, sep="," )$

**Kết quả chạy Rcode:**

- [1] "-0.255320707697313" "0.898710178225936"  
"0.356554836980303"
- [2] "-0.255318949275607" "0.898713336747099"  
"0.356548134890221"
- [3] "2.84470838066563e-06"
- [4] "5.9337651233021e-06"
- [5] "0.99999999971007"
- [6] "0.733823349211941"
- [7] "0.266176650788059"
- [8] "-7.14942257029616e-06" "-1.08420861825997e-06"  
"-2.38674734281963e-06"
- [9] "-0.187360296845605" "0.659494512956617"  
"0.261648264650603"
- [10] "-0.255320239646513" "0.89871101895052"  
"0.356553053040411"
- [11] "0.441962093333007"
- [12] "-0.255323399420278" "0.89871053977141"  
"0.35655199818856"
- [13] "-0.255317079872747" "0.898711498129631"  
"0.356554107892263"
- [14] "105.859832608702,20.8885927812769"
- [15] "105.859443744406,20.8887221619284"

Rcode chạy thông suốt nhưng cho kết quả tọa độ 2 điểm cắt nhau khi biểu diễn trên bản đồ thì không chính xác. Ngoài ra chúng tôi cũng tham khảo nhiều tài liệu khác trong việc xác định tọa độ điểm cắt nhau của các vòng tròn trong không gian 3 chiều mà bán kính khác nhau cũng không có kết quả. Từ đó, vấn đề khó khăn nhất của chúng ta là cần tự nghiên cứu thuật toán xác định tọa độ điểm cắt nhau của 2 vòng tròn trong hệ tọa độ địa lý mà bán kính khác nhau.

**Thuật toán được mô tả như sau:**



Hình 3. Mô tả thuật toán xác định tọa độ điểm cắt nhau của hai vòng tròn trong hệ tọa độ địa lý.

Trong hệ tọa độ địa lý, cho 2 vòng tròn có tâm tại P1 và P2 và bán kính lần lượt là R1, R2. Giả sử 2 vòng tròn cắt nhau tại 2 điểm, ta cần xác định tọa độ của 2 điểm cắt nhau này. Tại tâm của 1 trong 2 vòng tròn, giả sử tại P1, ta có một vector và độ dài vector bằng bán kính R1, ta sẽ cho vector quay quanh tâm P1, với mỗi bước nhảy  $\epsilon$  đủ nhỏ, ở đây ta chọn  $\epsilon=0.1$ , như thế, sau mỗi bước nhảy, sẽ có một điểm trên vòng tròn là điểm dừng của vector, đó chính là các điểm  $i=0, i=1, i=2 \dots v.v.$

Tại mỗi điểm dừng thứ  $i$ , ta hãy kiểm tra khoảng cách từ tọa độ của điểm  $i$  đến tâm của vòng tròn còn lại, đó chính là P2, giả sử khoảng cách đó là  $d$  và bằng R2 thì khi đó, tọa độ của  $i$  chính là tọa độ của điểm cắt nhau thứ nhất. Trên hình minh họa, tại điểm  $i=3$ , ta có  $d=R2$ , do đó, tọa độ tại  $i=3$  chính là tọa độ của điểm cắt nhau thứ nhất. Sau đó, vector tiếp tục quay và quá trình kiểm tra  $d=R2$  lại tiếp tục. Đến  $i=7$ , ta lại có  $d=R2$ , khi đó tọa độ  $i=7$  chính là tọa độ của điểm cắt nhau thứ 2.

Sau đây là code giả mã để minh họa thuật toán nói trên:

```

i=0;
alpha=0;(alpha là góc quay)
epsilon=0.1
While (alpha<360)
{
Pi= coordinate(R1,alpha);
d= distance(Pi,P2)
if(d=R2)
{
Intersection =Pi
if (getIntersectionPoint(1) == null)
getIntersectionPoint(1) =Pi
else
getIntersectionPoint(2) =Pi
}
else
{
i=i + 1;
alpha=i*epsilon;
}
}
    
```

Kết quả chương trình đã tính toán chính xác tọa độ 2 điểm cắt nhau của 2 vòng tròn bán kính khác nhau trong hệ tọa độ địa lý.

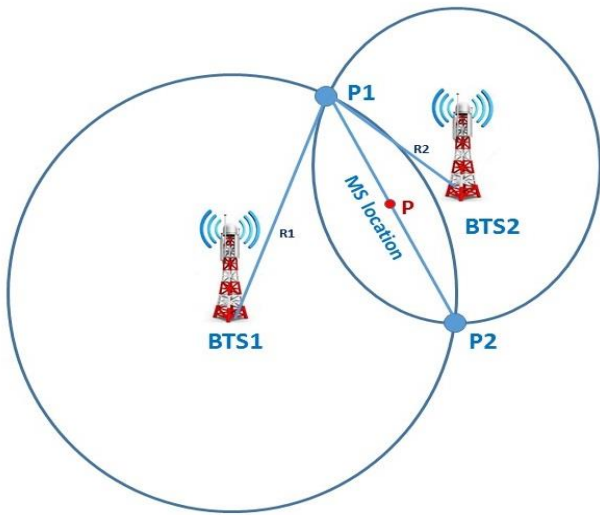
**III. MỞ RỘNG THUẬT TOÁN**

Trên đây chúng tôi đã trình bày giải thuật xác định tọa độ điểm cắt nhau của các vòng tròn trong hệ tọa độ địa lý mà bán kính khác nhau. Theo nguyên lý kỹ thuật định vị, điểm cắt nhau của 3 vòng tròn chính là tọa độ của thiết bị di động. Đây là một trường hợp đặc biệt, khi mà thiết bị di động ở đúng vị trí của 3 vòng tròn cắt nhau.

Trong thực tế, do sai số của phép đo mà các vòng tròn thường cắt nhau tại nhiều điểm. Do đó, để xác định tọa độ của thiết bị di động chúng ta cần xác định tọa độ của tất cả các điểm cắt nhau, sau đó, vị trí của thiết bị di động sẽ được xác định nằm trong vùng tạo bởi các điểm cắt nhau.

Chúng ta cần chia thành 2 trường hợp:

- (1). Trường hợp chỉ có 2 trạm gốc và 2 vòng tròn cắt nhau tại 2 điểm:



Hình 4. Mô tả trường hợp chỉ có 2 trạm gốc và 2 vòng tròn cắt nhau tại 2 điểm

Trong trường hợp này, tọa độ của thiết bị di động nhiều khả năng ở tại điểm P là trung điểm của đoạn thẳng P1-P2. Ta cần nghiên cứu tính tọa độ điểm P (trong hệ tọa độ địa lý).

Sau đây là thuật toán của chúng ta theo các bước tính toán sau:

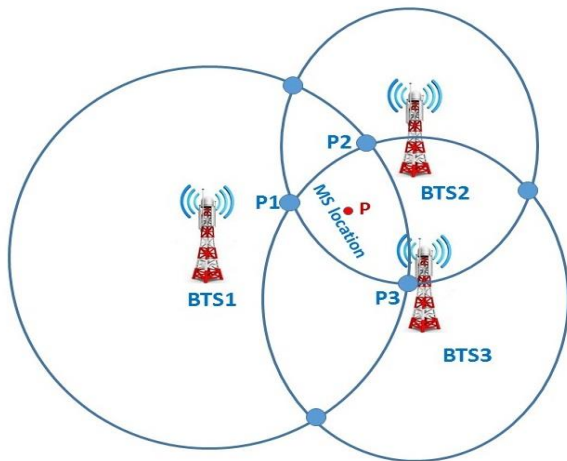
-Tính góc b (bearing) giữa hai tọa độ địa lý P1 và P2.

-Tính khoảng cách d là khoảng cách trung bình giữa 2 tọa độ P1 và P2.

-Sau khi tính được góc b và d tính tọa độ điểm P cho bởi bởi tọa độ P1 và các giá b và d.

Tọa độ điểm P nhận được chính là tọa độ thiết bị di động.

(2). Trường hợp có nhiều trạm gốc hơn (có nhiều hơn 2 vòng tròn) và chúng cắt nhau tại nhiều điểm:



Hình 5. Mô tả trường hợp 3 vòng tròn cắt nhau tại nhiều điểm.

Trong trường hợp này, chúng ta cần tính tọa độ của tất cả các điểm cắt nhau và xác định vùng giao nhau của 3 vòng tròn, ở đây là vùng tạo bởi 3 điểm P1, P2, P3 và tọa độ của thiết bị di động sẽ nằm ở giữa vùng giao này (điểm P).

#### IV. KẾT LUẬN

Trên cơ sở nghiên cứu và tìm ra thuật toán đúng đắn dựa trên một nguyên lý kỹ thuật định vị, chúng ta đã cải thiện được độ chính xác định vị thiết bị di động trong các trường hợp khác nhau. Việc tính được vị trí của thiết bị di động và cải thiện được độ chính xác của nó chính là mục tiêu của quá trình định vị thiết bị di động.

Trong bài báo này, chúng tôi đã nghiên cứu, đề xuất thuật toán xác định tọa độ điểm cắt nhau của 2 vòng tròn trong hệ tọa độ địa lý mà bán kính khác nhau khi ứng dụng nguyên lý kỹ thuật định vị di động TOA và AOA.

Đồng thời, để giải quyết bài toán trong thực tế, khi có sai số của các phép đo TOA, AOA trong môi trường mạng di động hỗn hợp có 4G-LTE (dẫn tới tính ra nhiều vị trí khác nhau), chúng tôi đã đề xuất một mở rộng thuật toán để cải thiện độ chính xác định vị.

Thuật toán trên đã được chúng tôi lập trình và chạy thử, cho kết quả định vị chính xác vị trí của thiết bị di động đối với các thông số giả định, trên môi trường dữ liệu Cell ID của mạng 4G-LTE Việt Nam. Các kết quả mô phỏng, tính toán khi mở rộng thuật toán định vị TOA, AOA là khả thi, hiệu quả, đã được kiểm nghiệm thực tế và chúng tôi đề xuất được trình bày, mô phỏng trong một chuyên đề khác tiếp theo.

Do mạng di động Việt Nam hiện nay là một mạng hỗn hợp, trong đó 4G-LTE đã được triển khai rộng khắp và đang thử nghiệm 5G ở một số thành phố, nên việc nghiên cứu cải thiện độ chính xác định vị trong các kỹ thuật TOA, AOA sẽ là tiền đề cho việc nghiên cứu mở rộng giải pháp này cũng như các giải pháp khác trong thế hệ mạng di động mới.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] <http://what-when-how.com/information-science-and-technology/mobile-positioning-technology-science>

[2] <https://hsc.com/blog/positioning-techniques-for-mobile-device-in-lte>

[3] <https://gis.stackexchange.com/questions/48937/calculating-intersection-of-two-circles>

[4] Ayad M. H. Khalel, "Position Location Techniques in Wireless Communication Systems", MEE10: 67 Electrical Engineering Emphasis on Telecommunications October 2010.

[2] Andreas Schmidt-Dannert, "Positioning Technologies and Mechanisms for mobile Devices", Seminar Master Module SNET2 TU-Berlin, 2012.

[3] Christopher Drane, Malcolm Macnaughtan, and Craig Scott, "Positioning GSM Telephones", IEEE Communications Magazine, April 1998.

[4] Brian O'Keefe, "Finding Location with Time of Arrival and Time Difference of Arrival Techniques", ECE Senior Capstone Project 2017 Tech Notes.

[5] Omar Waleed Abdulwahhab, "Mobile Position Estimation based on Three Angles of Arrival using an Interpolative Neural Network", International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 100– No.7, August 2014.

[6] Yao Zhang, Zhongliang Deng and Yuhui Gao, "Angle of Arrival Passive Location Algorithm Based on Proximal Policy

Optimization”, Electronics 2019, 8, 1558; doi:10.3390/electronics8121558.

[7] M.F.M.Mahyuddin, A.A.M.Isa, M.S.I.M.Zin, Afifah Maheran A.H, Z.Manap and M.K.Ismail, “Overview of Positioning Techniques for LTE Technology”, e-ISSN: 2289-8131 Vol. 9 No. 2-13.

[8] Rafael Saraiva Campos, “Evolution of Positioning Techniques in Cellular Networks, from 2G to 4G”, Hindawi Wireless Communications and Mobile Computing Volume 2017.

[9] Albert Montilla Bravo, Jose Ignacio Moreno, Ignacio Soto, “Advanced Positioning and Location based Services in 4G Mobile-IP Radio Access Networks”, 0-7803-8523-3/04/\$20.00 02004 IEEE.

[10] Mike Thorpe, Ewald Zelmer, “LTE Location Based Services - Technology Introduction”, Rohde & Schwarz, September, 2015.

[11] Ericsson White Paper, “Positioning With LTE”, September 2011.

### RESEARCH FOR IMPROVING ACCURACY OF TOA AND AOA POSITIONING TECHNIQUES

**Abstract:** There are many different methods (techniques) of mobile device positioning. Among them, there are two widely applied techniques, namely Time of Arrival Positioning Technique (TOA) for calculating the time of arrival of signals from base stations and Angle of Arrival Positioning Technique (AOA) for calculating the angle of arrival of signals from base stations serving mobile mobiles. These both techniques calculate the relevant parameters between the base station (BTS/NodeB/eNodeB) and the mobile device (MS/UE/TE) to determine the mobile device’s location. Computational algorithms to determine the location (positioning) of mobile devices using the above two techniques have been researched, published and can be found on the Internet. However, in the process of applying those algorithms to solve the positioning problem, there are many different reasons why the calculated position on the geographic coordinate system (with 3D space) is difficult to calculate or inaccurate. Besides, in practice, due to the error of the measurements, the positioning problem can calculate many results, especially, with the current mixed mobile network environment (2G, 3 G, 4G-LTE). Therefore, this paper presents the research, analysis, and proposal of an extended algorithm to improve accuracy of TOA and AOA mobile positioning techniques.

**Keywords:** Mobile positioning, TOA, AOA, geographic coordinate system, 3D space, measurement error, exact location of mobile device, 4 G-LTE.



**Nguyễn Hồng Thủy** tốt nghiệp Kỹ sư điện tử - Đại học Bách khoa Hà Nội năm 1987. Thạc sĩ Điện tử Viễn thông - Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2004, hiện công tác tại Cục Kỹ thuật nghiệp vụ - Bộ Công an. Các lĩnh vực nghiên cứu chính: thông tin vô tuyến điện, vệ tinh, di động, viễn thám; định vị vô tuyến,

định vị và theo vết di động...

Email: [ferrai.nguyenthuy@gmail.com](mailto:ferrai.nguyenthuy@gmail.com)



**Trần Cao Hiền** tốt nghiệp Kỹ sư Công nghệ thông tin Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông năm 2012, hiện công tác tại Cục Kỹ thuật nghiệp vụ - Bộ Công an. Các lĩnh vực nghiên cứu chính: phân tích tín hiệu, định vị vô tuyến, di động, bản đồ số, lập trình ứng dụng...

Email: [caotranhien815@gmail.com](mailto:caotranhien815@gmail.com)