

GIẢI PHÁP NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA ĐỊNH VỊ THUÊ BAO DI ĐỘNG TRONG MẠNG GSM DỰA TRÊN RSS

A MOBILE SUBSCRIBER POSITIONING SOLUTION IN GSM NETWORK BASED ON RSS

Lê Danh Cường, Võ Văn Tùng

TÓM TẮT

Định vị chính xác vị trí thuê bao di động (MS) trong mạng GSM là bài toán luôn mang tính thời sự, có ý nghĩa đặc biệt quan trọng trong lĩnh vực an ninh quốc phòng. Bài báo này đề cập về một giải pháp định vị thuê bao di động trong mạng GSM dựa trên kỹ thuật đo cường độ tín hiệu (RSS) nhận được của kênh điều khiển đường xuống, truyền qua các trạm gốc (BS). Các kết quả đo này được sử dụng để tính toán, ước lượng vị trí MS thông qua thuật toán hình học thích ứng AGA (Adaptive Genetic Algorithm) và thuật toán xác suất lỗi tròn CEP (Circular Error Probability). Qua đó nâng cao độ chính xác của định vị thuê bao trong mạng GSM.

Từ khóa: Mạng GSM, định vị vị trí, Xác suất lỗi tròn (CEP), thuật toán AGA, trạm gốc (BS), thiết bị di động (MS), cường độ tín hiệu nhận được (RSS).

ABSTRACT

Precise positioning of mobile subscribers (MS) in the GSM network is always a important issue, especially in the field of security and defense. This article proposes a mobile subscriber positioning solution in GSM network based on the received signal strength (RSS) technology of downlink channel, transmitted over base stations (BS). These results are used to calculate and estimate MS positions through Adaptive Genetic Algorithm (AGA) and Circular Error Probability (CEP) algorithm. This improves the accuracy of GSM subscriber positioning.

Keywords: GSM network, positioning, Circular Error Probability (CEP), Adaptive Genetic Algorithm (AGA), base station, mobile device, received signal strength (RSS).

Lê Danh Cường, Võ Văn Tùng

Cục Kỹ thuật, Bộ Công an

Email: cuongqt34@yahoo.com

Ngày nhận bài: 12/07/2017

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 13/08/2017

Ngày chấp nhận đăng: 16/10/2017

1. GIỚI THIỆU

Giải pháp được đề xuất để cập tới hiệu suất của vị trí MS trong các mạng GSM dựa trên các phép đo cường độ tín hiệu RSS nhận được. Có ba loại cách thức định vị gồm: tự định vị, định vị từ xa và định vị hỗn hợp [4].

- Tự định vị MS bằng cách sử dụng các phép đo tín hiệu cần thiết từ các máy phát theo phân bố địa lý (BSs) và sử dụng các phép đo này để xác định vị trí thực tế.

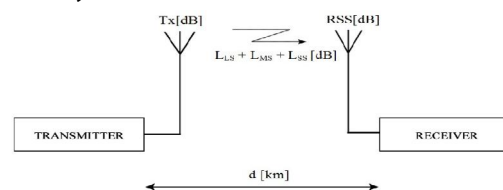
- Định vị từ xa bằng cách thu, đo tín hiệu từ các trạm BSs với MS. Các kết quả đo này được chuyển vào một vị trí trung tâm và được tính toán vị trí thuê bao.

- Định vị hỗn hợp bằng cách sử dụng các thông số đo vị trí từ máy định vị tới một địa điểm để xử lý tính toán và thông báo kết quả.

Trong phương pháp RSS, quá trình truyền dẫn từ MS đến BSs được đo và chuyển đổi thành các khoảng cách giữa chúng. Đối với định vị hai chiều, mỗi phép đo RSS sẽ cung cấp một vòng tròn trung tâm tại BS tương ứng và MS nằm trên vòng tròn này. Trường hợp không có sai số đo, vị trí MS được cho bởi giao điểm của các vòng (ít nhất là 3 vòng tròn của 3 BS). Tuy nhiên, độ chính xác của bài toán định vị MS phụ thuộc vào sai số đo nhiều, suy hao, điều kiện truyền và môi trường gây ra [9].

2. GIẢI PHÁP ĐỀ XUẤT

Bài toán được giải quyết dựa trên phương pháp RSS được trình bày theo mô hình sau:



Hình 1. Mô hình đo lường RSS

Trong đó: T_x [dB] là cường độ tín hiệu của MS;

L_{LS} [dB] là độ suy giảm tín hiệu, gây ra bởi sự lan truyền ở quy mô lớn (mắt đường dẫn);

L_{MS} [dB] là độ suy giảm tín hiệu, gây ra bởi sự lan truyền ở quy mô mức độ trung bình;

L_{SS} [dB] là độ suy giảm tín hiệu, gây ra bởi sự lan truyền ở quy mô mức độ nhỏ;

RSS [dB] là cường độ tín hiệu nhận được tại nơi thu.

Khi đó, ta có:

$$RSS = T_x - (L_{LS} + L_{MS} + L_{SS}) \quad (1)$$

L_{LS} [dB] được mô phỏng theo mô hình của Hata cho vùng đô thị, mô hình Okumura-Hata cho ngoại ô, mô hình

Hata cho khu vực mở, mô hình Cost-Hata là mở rộng dải tần số của mô hình Hata [6].

Xét vị trí trong một mặt phẳng hai chiều (2-D), với:

- Vị trí thực của MS là: $M(x_m, y_m)$
- Tọa độ của BS thứ i là $B_i(x_b, y_b); i = \overline{1, N}$

Khi đó khoảng cách d_i giữa MS và BS thứ i là:

$$d_i = \sqrt{(x_m - x_b)^2 + (y_m - y_b)^2}, i = \overline{1, N} \quad (2)$$

Tuy nhiên trong thực tế luôn tồn tại nhiễu, bởi vậy phép đo sẽ không đúng. Giả sử tại BS thứ i có sự sai lệch do nhiễu gây ra trong quá trình đo, gọi khoảng cách sai lệch thứ i là n_i . Khi khoảng cách đo được r_i được tính như sau:

$$r_i = d_i + n_i = \sqrt{(x_m - x_b)^2 + (y_m - y_b)^2} + n_i; i = \overline{1, N} \quad (3)$$

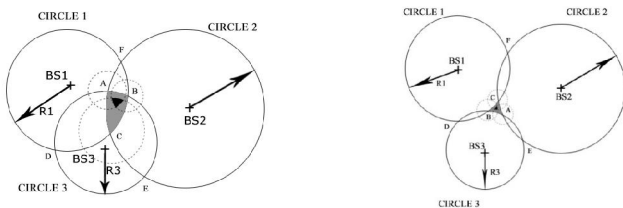
Để đơn giản hóa, giả sử sai số đo $\{n_i\}$ là các biến số Gauss, với biến số được biết là σ^2 . Khi đó, từ phép đo được thực tế r_i sẽ tính chính xác được khoảng cách thực d_i bởi công thức:

$$d_i^2 = r_i^2 - \sigma^2 = (x_m - x_b)^2 + (y_m - y_b)^2 \quad (4)$$

Khi ta có được các $d_i (i = 1, 2, \dots, N)$, việc tính toán vị trí MS bằng các đường tròn giao nhau có thể được thực hiện bằng các thuật toán tính toán khác nhau (hình 2). Các thuật toán được sử dụng phổ biến nhất như: Thuật toán GA (Genetic Algorithm), Thuật toán AGA (Adaptive Genetic Algorithm). Trong giải pháp sẽ sử dụng thuật toán GAG [7] để thực hiện các phép phân tích RSS.

Ý tưởng chính của AGA xuất phát từ GA cơ bản được mô tả ở trên và mục đích của nó là giảm phạm vi liên quan và cuối cùng xác định tọa độ cụ thể của MS. AGA thực hiện các quá trình lặp, trong đó GA [2] là lần lặp lại đầu tiên. Sau lần lặp đầu tiên, tọa độ giao điểm liên quan và khu vực liên quan được xác định. Khu vực liên quan sau đó sẽ được giảm trong tất cả các lần lặp tiếp theo.

Việc giảm diện tích có liên quan được thực hiện bằng cách giảm hay tăng vòng tròn bán kính. Bán kính vòng tròn được nhân với một hệ số k . Tất cả các vòng tròn này được giảm (hoặc phóng to) theo tỷ lệ. Trong trường hợp bài toán sử dụng 3 BS để định vị MS, có hai tình huống được phân tích và sử dụng để ước tính vị trí MS trong giải pháp, được mô tả cho thấy được số giao điểm của tất cả các vòng kết nối.



Hình 2. Các tình huống sử dụng để ước lượng vị trí MS

Tình huống ($k < 1$), một giao điểm của hai vòng tròn nằm trong vòng tròn thứ ba là một giao điểm nội. Một giao điểm nội được sử dụng để ước lượng vị trí MS và do đó tác

giả gọi nó là một giao điểm có liên quan. Mô hình ba vòng xác định 3 điểm giao nhau khác nhau có liên quan, các giao điểm liên quan này xác định khu vực thuộc tất cả các vòng kết nối, được gọi là một khu vực có liên quan. Vị trí chính xác của MS dự kiến sẽ nằm trong khu vực này. Tình huống thứ hai ($k > 1$): Đây là tình huống phức tạp hơn, bởi vì không có giao điểm nội. Do đó, các giao điểm có liên quan được lựa chọn theo cách khác nhau. Tương tự, ta tìm được ba nút giao liên quan là a, b và c . Những giao điểm liên quan này sẽ xác định khu vực có liên quan.

Đối với cả hai tình huống trên, các nút giao a, b và c có quan hệ mật thiết với nhau để xác định khu vực cần định vị MS. Kích thước của khu vực liên quan càng nhỏ, càng cho phép ước lượng và tính toán chính xác.

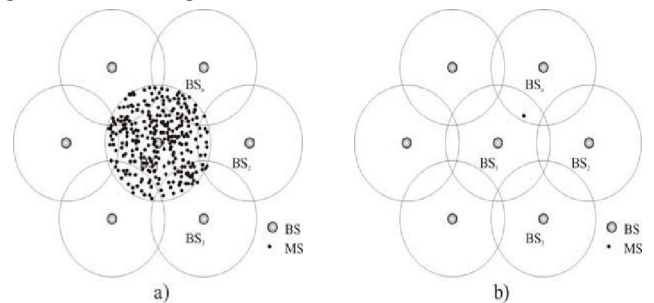
Ước lượng cuối cùng của vị trí MS được định nghĩa là trung tâm của đa giác, tức là trọng tâm của đa giác tạo ra từ tất cả các giao điểm có liên quan. Các tọa độ ước tính của MS được tính như sau:

$$x_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i; y_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i; \text{ với } i = \overline{1, N} \quad (5)$$

Trong đó, N là số giao điểm có liên quan. Đối với trường hợp cụ thể sử dụng 3 BS, tương đương với ba vòng tròn $N = 3$.

Độ chính xác của vị trí có thể được cải thiện bằng cách giảm diện tích khu vực có liên quan. Để xuất mô hình hệ thống như sau:

- + Số BS là N ,
- + Các tín hiệu từ BS được đo từ MS,
- + Nhận được cường độ tín hiệu từ mỗi BS là độc lập với nhau,
- + Cấu hình trạm cơ bản lục giác (hình 3),
- + Tất cả các tế bào trong hệ thống được triển khai với ăng ten định hướng cao.



Hình 3. Phân bố của MS

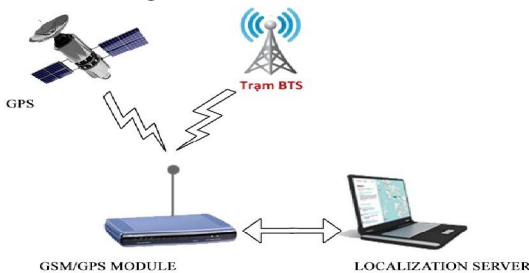
Các địa điểm của MS được mô phỏng trong hai trường hợp:

- Trong trường hợp đầu tiên, giả định rằng MS di chuyển ngẫu nhiên trong khu vực trung tâm tế bào (hình 2a).
- Trong trường hợp thứ hai MS nằm ở điểm độc nhất (hình 2b).

Để dàng nhận thấy rằng độ chính xác của phương pháp định vị MS sẽ phụ thuộc vào MS, hình học trạm cơ sở và các tham số kênh, bán kính tế bào.

Giải pháp sử dụng mô hình lan truyền CCIR để thực nghiệm trong mạng GSM hoạt động ở băng tần 900 MHz. Mô hình CCIR là một mô hình thực nghiệm cho những ảnh hưởng kết hợp của sự mất mát đường dẫn không gian trống và sự mất mát đường dẫn do địa hình gây ra.

Các phép đo được thực hiện bởi trạm đo di động. Trạm bao gồm modul GSM/GPS và máy chủ định vị. Máy chủ định vị cung cấp giao tiếp và thu thập dữ liệu từ các modul, đồng thời cũng ghi lại dữ liệu đo và tính toán vị trí của MS. Vai trò của GSM là để đo RxLev và cell ID từ tất cả các BS có sẵn. Số lượng tối đa các tế bào được theo dõi là 7, nghĩa là 1 tế bào phục vụ và 6 tế bào lân cận cùng một lúc. Modul GPS theo dõi tọa độ hiện tại của vị trí MS để so sánh. Cấu trúc truyền thông của trạm đo, GPS và mạng di động được thể hiện trong hình 4.



Hình 4. Cấu trúc mô hình thử nghiệm

Để tính toán cần phải xác định các tham số khác của mạng, bởi vì các tham số này là đầu vào cho mô hình lan truyền sau:

$$L_{LS} = 69,55 + 26,16\lg(f) - 13,82\lg(h_b) - a(h_m) + [44,9 - 6,55\lg(h_b)]\lg(d) - B \quad (6)$$

Thực tế có được các thông số sau:

- MS có chiều cao $h_m = 1,5m$
- Chiều cao BS $h_b = 40m$
- Giá trị trung bình của tần số kênh liên kết được MS sử dụng (RxLev) được đo bằng: $f = 947,5 \text{ MHz}$.
- Hệ số hiệu chỉnh B phụ thuộc vào χ . Tham số χ được định nghĩa đặc biệt cho từng tế bào, nghĩa là từ 20% đến 90%.

Vấn đề fading đã được loại bỏ một phần bằng cách ước tính công suất trung bình theo công thức (7):

$$RxLev = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} RxLev_i \quad (7)$$

Trong đó, N_s là số mẫu (trong trường hợp $N_s = 10$).

Các vấn đề cơ bản của định vị RSS là chuyển đổi dữ liệu đo (RxLev) vào khoảng cách giữa BS và MS. Vấn đề này bao gồm việc lựa chọn mô hình thích hợp rất quan trọng nên tác giả quyết định sử dụng mô hình CCIR vì dữ liệu của nó có thể được tùy chỉnh dựa trên môi trường liên quan. Các phép đo sơ bộ được thực hiện để xác định các tham số mô hình cho môi trường cụ thể.

RxLev không chỉ là thông số ảnh hưởng đến việc tính khoảng cách giữa MS với BS. Môi trường định vị đóng vai trò rất quan trọng trong quá trình xác định vị trí, nên việc lựa chọn các BS có ảnh hưởng đến độ chính xác định vị. BS

nằm gần MS mang lại lỗi nhỏ hơn. Do đó, giải pháp tối ưu hóa quá trình lựa chọn BSs để ước tính vị trí cuối cùng.

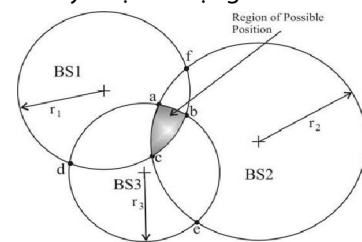
Môi trường định vị là yếu tố rất quan trọng và được xác định rõ ràng bởi yếu tố hiệu chỉnh B trong mô hình CCIR (4). Do vậy, trong tính toán khoảng cách MS-BS, cần phải khảo sát kỹ vấn đề này. Giải pháp sử dụng phương pháp mô phỏng như sau:

Bảng 1 cho biết tác động của yếu tố B trên khoảng cách d_i (MS-BS_{*i*}); $B = f(\chi)$. Khoảng cách d_i được biểu diễn cho các giá trị khác nhau của hệ số hiệu chỉnh $b(\chi)$ trong khi RxLev là hằng số.

Bảng 1. Sự phụ thuộc của MS-BS_{*i*} vào yếu tố χ

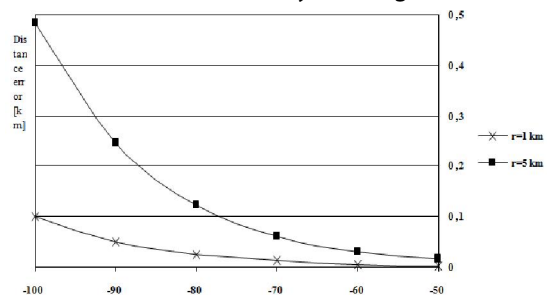
χ [%]	5	10	20	40	80
RxLev [dBm]	-60	-60	-60	-60	-60
d [km]	1,689	1,011	0,605	0,362	0,217

Ở đây, giải pháp sử dụng xác suất lỗi tròn CEP, được định nghĩa là bán kính của vòng tròn có trung tâm tại vị trí thực và chứa các ước tính vị trí với xác suất P . Tác giả sẽ tập trung vào 50% (đánh dấu CEP50) và 67% (đánh dấu CEP67) vì những xác suất này được sử dụng nhiều nhất.



Hình 5. Ba vòng kết nối trong thử nghiệm

Trong quá trình thử nghiệm, trường hợp sử dụng 3BS có độ chính xác cao nhất. Để minh chứng, giải pháp mô tả trên các biểu đồ hình 6. Biểu đồ cho thấy, trường hợp sử dụng n BS để định vị bằng cách chọn n BS_{*s*} gần nhất với MS. Nếu khoảng cách giữa BS và MS là lớn hơn, lỗi về khoảng cách ước tính (theo mô hình truyền) cũng lớn hơn.



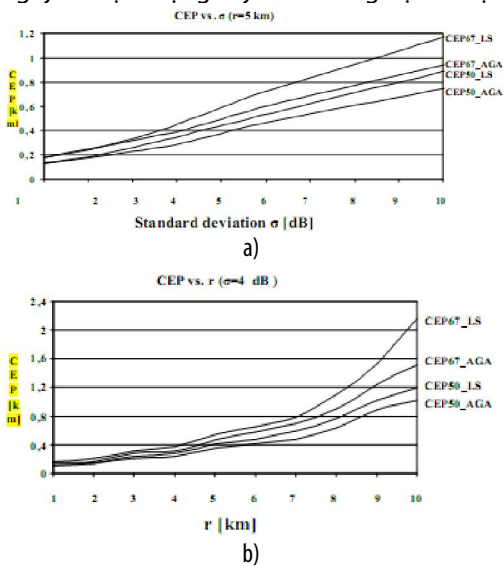
Hình 6. Lỗi khoảng cách [km] s7o với RSS khi có lỗi RSS [dBm]

Đối với mỗi giá trị RSS (-50, -60,...) được xác lập sai số giống nhau (1dBm). Lỗi 1 dBm gây sai lệch khoảng cách khác nhau ở ước tính khoảng cách giữa MS và BS. Hình 6 cho thấy một thực tế là giảm giá trị của RSS có nghĩa là tăng lỗi khoảng cách, vì thế việc sử dụng nhiều BSs để định vị không mang lại sự độ định vị chính xác; trường hợp sử dụng 3 BS để định vị, độ chính xác là cao nhất và sai số là thấp nhất. Kết luận này có tác động quan trọng đối với bài toán các tế bào lớn. Trên cơ sở thực tế này, thuật toán hình

học thích ứng AGA được áp dụng chỉ cho 3 BS, cho hiệu quả tương đương với thuật toán LS (cũng sử dụng 3 BS).

Thực nghiệm được thực hiện để đánh giá hiệu suất của thuật toán định vị AGA và so sánh với thuật toán LS thông thường, cho hai trường hợp vị trí của MS trong mô phỏng đã đề xuất (hình 4). Các tham số mô phỏng được xác định: $r = 5 \text{ km}$, $\sigma = 4 \text{ dB}$. Sự lựa chọn các tham số đại diện cho trường hợp thực tế. Tất cả các kết quả dựa trên 500 lần chạy độc lập.

Trong trường hợp đầu tiên, vị trí MS được tạo ngẫu nhiên trong tế bào trung tâm. Độ chính xác (CEP) được quan sát theo biên độ tín hiệu thu được σ [dB] thay đổi độ lệch tiêu chuẩn và bán kính tế bào. Hình 7 mô tả tính chất của CEP trong trường hợp vị trí MS theo hình 3a. Hình 7a cho thấy sự suy giảm chính xác với sự gia tăng độ lệch tiêu chuẩn. Độ lệch tiêu chuẩn đóng vai trò quan trọng đặc biệt trong môi trường với kích thước tế bào lớn, đây là môi trường xung quanh bị ảnh hưởng lớn hơn đến các kênh radio và gây ra hiện tượng suy hao cường độ tín hiệu.

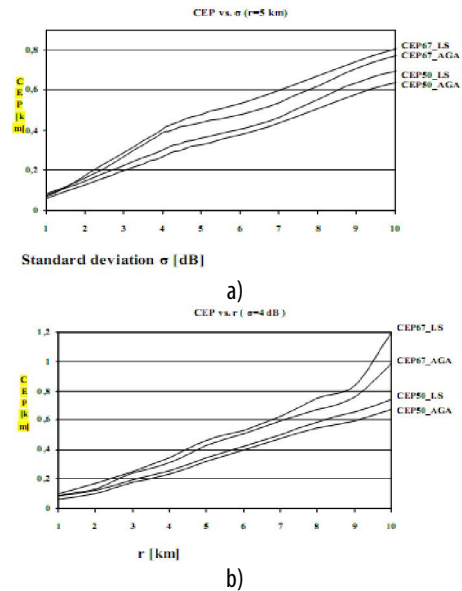


Hình 7: a) CEP so với độ lệch chuẩn σ [dB]
b) CEP so với bán kính r [km]

Trên cơ sở kết quả thu được, kết luận rằng thuật toán AGA đạt được kết quả chính xác hơn so với thuật toán LS thông thường. CEP là một hàm tuyến tính của độ lệch chuẩn σ của biên độ tín hiệu thu được. Hình 7b cho thấy sự phụ thuộc của CEP vào bán kính r theo km. Tăng giá trị bán kính tế bào có nghĩa là tăng CEP. Hiệu suất của các thuật toán là xấp xỉ bằng cho đến khi $r = 4 \text{ km}$. Cũng có thể thấy sự khác biệt đáng kể hơn trong trường hợp các tế bào lớn hơn. Mô phỏng trên được lặp lại cho trường hợp vị trí MS duy nhất (trường hợp hình 3b).

Hình 8 mô tả tính chất của CEP trong trường hợp vị trí của MS theo hình 3b. Hình 8a cho thấy CEP như là một chức năng của độ lệch chuẩn biên độ của tín hiệu thu được, độ chính xác là xấp xỉ chức năng tuyến tính của độ lệch chuẩn σ . Hình 8b cho biết mối liên hệ giữa bán kính CEP so với bán kính tế bào, độ chính xác giảm dần theo tuyến tính với

bán kính ô tới giá trị 9 km, độ chính xác khá thấp đối với các tế bào lớn.



Hình 8: a) CEP so với độ lệch chuẩn σ [dB], b) CEP so với bán kính r [km]

3. KẾT LUẬN

Giải pháp đề xuất nhằm nâng cao tính chính xác định vị vị trí của MS trong mạng GSM, dựa trên tín hiệu RSS của MS thu thập từ các trạm gốc xung quanh. Giải pháp sử dụng mô hình CCIR kết hợp với thuật toán AGA sử dụng CEP là một giải pháp ước lượng, tính toán vị trí chính xác thuê bao trong mạng GSM so với phương pháp tính toán thông thường dựa trên kỹ thuật đo cường độ tín hiệu RSS. Các kết quả này là cơ sở khoa học quan trọng để nghiên cứu, ứng dụng giải quyết bài toán định vị thuê bao di động mạng GSM đặt ra trong thực tiễn hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. BRIDA, P., "The Mobile Positioning in GSM Networks", The PhD work, University of Žilina, Department of Telecommunication 2005.
- [2]. BRIDA, P., CEPEL, P., DUHA, J., "A novel adaptive algorithm for RSS positioning in GSM networks", IEEE Communications Magazine, April 2009.
- [3]. WANG, X., WANG, Z., O'DEA, B. A., "TOA-based location algorithm reducing the errors due to non-line-of-sight (NLOS) propagation", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2003, vol. 52, no. 1, p. 112 - 116.
- [4]. DRANE, C., "Positioning GSM telephones", IEEE Communications Magazine, April 1998, vol. 36, no. 4, p. 46-59.
- [5]. PRASAD, RAMJEE, "Universal Wireless Personal Communications", Artech House, 1998. ISBN 0-89006-958-1.
- [6]. HATA, M., "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services", IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. VT29, no. 3, pp. 317-325, August 1980.
- [7]. M. Ibrahim and M. Youssef, "CellSense: A probabilistic RSSIbased GSM positioning system" in GLOBECOM, 2010.
- [8]. R. R. C. Ionut Constandache and I. Rhee, "Towards mobile phone localization without war-driving" in IEEE Infocom, 2010.
- [9]. Theodore S Rappaport, "Wireless Communications Principles and Practice", Prentice- Hall of India, 2003.