

Симулация на алгоритъм за позициониране на обекти в сензорни мрежи

Михаил Илиев, Иванка Цветкова, Нина Бенчева, Димитър Радев

Simulation of an algorithm for the objects positioning in sensor networks: In this paper it is consider a simulation algorithm for positioning of static and moving objects in the sensor networks. With Matlab is created a program and it is simulated. In case with small number of references objects the mean square error is not enough even when the noise has small value. This algorithm can be used in any speed of move of the target object, if the speed of moving object is in the window of sensor with known position.

Key words: simulation modeling; mean squares error algorithm; steepest descent algorithm;.

ВЪВЕДЕНИЕ

Сензорните мрежи представляват клас от телекомуникационни мрежи за предаване на данни, чието развитие през последните години е динамично и обективно представено. Те се характеризират с голяма функционалност, осигуряваща реализация при различни приложения. Едно от възможните приложения на сензорните безжични мрежи е определянето на позицията на обекти намиращи се в обхвата на мрежата.

За оценка на позицията на обекти в безжични мрежи, е необходимо предаването на данни между търсения обект и сензорите (обектите) с известни координати. Тази оценка се извършва в два етапа. Отначало е необходимо да се оценят параметрите на обменните сигнали, след което на втори етап се оценява позицията [7]. Оценката на позицията на търсения обект в безжичната сензорна мрежа включва измерването на предварително зададени параметри на сигнала [2]. В тази работа като зададен параметър се използва времезакъснението при пристигане на сигнала (time difference of arrival) [2].

АЛГОРИТЪМ ЗА НЕПРЕКЪСНАТО ПОЗИЦИОНИРАНЕ

Алгоритмите, които използват времезакъснението при пристигане на сигнала като информационен параметър, не се нуждаят от синхронизация, т.к. обектите с известни координата са синхронизирани помежду си. В този случай информацията се съдържа в закъснението между времената на пристигане на сигналите от двата известни обекта до търсения обект. [1]

След получаване на критериалния информационен параметър (времезакъснението при пристигане на сигнала от двата известни обекта) се извършва оценка на позицията от получените параметри. Използва се подхода за геометрично позициониране, в който оценяваната позиция се получава чрез пресичане на позиционните линии, получени от измерването на времената на пристигане на сигналите от зададен брой известни обекти. В случай на непрекъснато позициониране се определя хиперболата за позицията на търсения обект. Например: нека са известни три обекта, като разликата между двете разстояния се изразява чрез [7]:

$$d_{i1} = d_i - d_1 = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \quad i = 2,3 \quad (1)$$

където:

(x, y) са координатите на търсения обект;

(x_i, y_i) - координатите на известните обекти;

(x₁, y₁) - координатите на първия известен обект.

Ако безжичната мрежа има N_m обекти с известни координати и $i^{\text{я}}$ известен обект има координати (x_i, y_i), измереното разстояние $\hat{d}_i$ между търсения и $i^{\text{я}}$ известен

обект се задава с израза:

$$\hat{d}_i = d_i + e_i + n_i = ct_i, \quad i = 1, 2, \dots, N_m, \quad (2)$$

където t_i е времето на пристигане на измерения сигнал от $i^{\text{я}}$ известен обект;

c - скоростта на светлината;

d_i - точното разстояние между двата обекта;

n_i - Гаусов шум с нулева средна стойност и вариация σ_i^2 ;

e_i - абсолютната стойност на отклонението, получено при липса на *директна видимост* LOS (line-of-sight) [4]:

$$e_i = \begin{cases} 0, & \text{при LOS} \\ |\tilde{e}_i|, & \text{при NLOS} \end{cases} \quad (3)$$

При отсъствие на шум и непряка видимост NLOS отклонението e_i и действителното разстояние d_i определят кръг с център (x_i, y_i) , който кореспондира с всички възможни положения на търсения обект. Общото решение за N_m кръга дава координатите на търсения обект. При реални измервания (наличие на шум) и отклонения, поради непряката видимост на обектите, всички кръгове може да не се пресичат в една точка. В този случай е валидно уравнението:

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = \hat{d}_i^2, \quad i = 1, \dots, N_m \quad (4)$$

Решението на (4) се получава с помощта на минимално квадратичната грешка:

$$\begin{aligned} (\hat{x}, \hat{y}) &= \arg \min_{(x, y)} \left\{ \sum_{i=1}^{N_m} \varsigma_i (\hat{d}_i - \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2})^2 \right\} \\ &= \arg \min_{(x, y)} \{ \varepsilon_{res}(x, y) \}, \end{aligned} \quad (5)$$

където $\varepsilon_{res}(x, y)$ е остатъчната грешка, съответстваща на координатите на търсения обект;

ς_i – константа на измерването.

Прецизността на позиционирането, съгласно (2) и (4) зависи от точното измерване на координатите на всеки известен обект [4].

При решаване на системата (5) се използва известният апроксимационен алгоритъм за определяне на стойностите на функция с две променливи [3]:

$$\begin{aligned} \hat{x}_0^{(i)} &= \hat{x}_0^{(i-1)} - \lambda \frac{\partial f(x_0, y_0)}{\partial x_0} | (\hat{x}_0^{(i-1)}, \hat{y}_0^{(i-1)}) \quad i = 1, 2, \dots \\ \hat{y}_0^{(i)} &= \hat{y}_0^{(i-1)} - \lambda \frac{\partial f(x_0, y_0)}{\partial y_0} | (\hat{x}_0^{(i-1)}, \hat{y}_0^{(i-1)}) \quad i = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (6)$$

За решаването на (6) се използва метода на максималното правдоподобие. В работата се предлага критерий за оценка на максималното правдоподобие без наличието на определена априорна информация.

Критерий за оценка на максималното правдоподобие

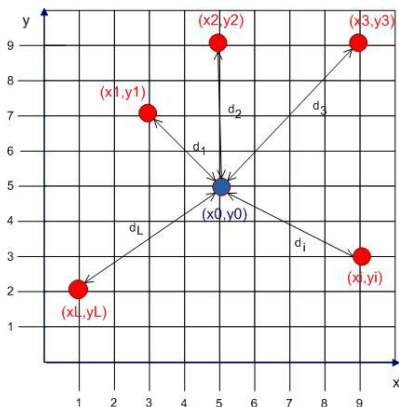
Използва се наличието на Гаусов шум с нулева средна стойност така, че решението на (6) е еквивалентно на решението получено, като се използва минималната средноквадратична грешка [2]. По този начин като критерий за оценка на алгоритъма за позициониране се използва изразът (7):

$$\sigma_{\min}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(x_0 - \hat{x}_0)^2 + (y_0 - \hat{y}_0)^2] \quad (7)$$

Симулационни резултати

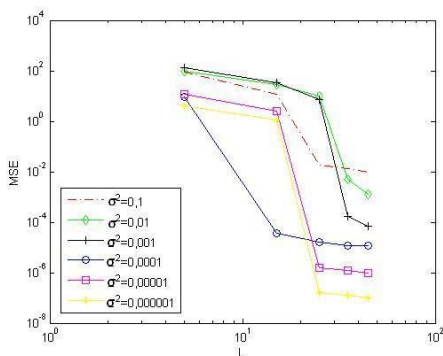
Изследване на неподвижен обект. С помощта на Matlab се търсят координатите на неподвижен обект, когато броят на сензорите с известни координати се променя в интервала [5, 3000]. Апроксимационното решение за средно квадратичната грешка $\sigma_{\min}^2$ се получава в резултат на 100 симулационни итерации. Симулациите се извършват при нива на добавен шум $\sigma^2 = 0,1; 0,01; 0,001; 0,0001; 0,00001; 0,000001$ за всеки зададен брой на обектите с известни координати.

Определянето на разстоянието d_i между търсения обект (x_0, y_0) и обектите с известни координати се реализира по зависимост (4) чрез подхода излюстриран на фиг. 1.



Фиг. 1 Координати на търсения обект и известни обекти

Зависимостта на средно квадратичната грешка от обекти с известни координати ($L=5 \dots 50$) при различни стойности на добавения шум е показана на фиг. 2:

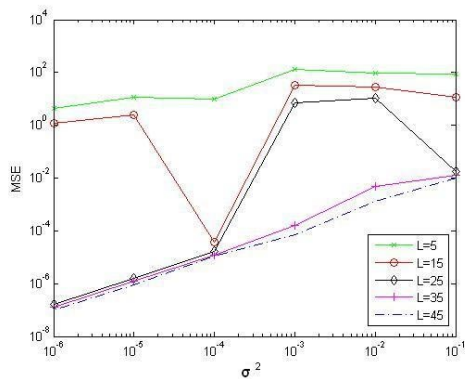


Фиг. 2 Зависимост на MSE от L

Вижда се, че увеличаването на броя на обектите с известни координати води до рязко намаляване на средно квадратичната грешка. Точността на резултатите се подобрява при минимален брой на известните обекти $L_{\min} = 50$. Увеличаването на

добавения шум е свързано с намаляване на праговата стойност на средно квадратичната грешка.

Влиянието на добавения шум σ^2 за различен брой на известни обекти ($L=5\ldots 50$) е получено на фиг.3.

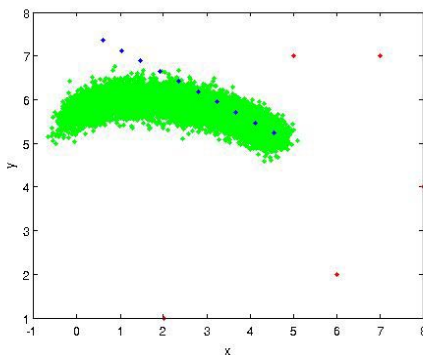


Фиг. 3 Зависимост на MSE от σ^2

Нарастването на стойността на добавения шум води до увеличаване на средно квадратичната грешка.

Изследване при движение на обекта в една посока ($a=0$). Изследвано е позиционирането на обект, който се движи с постоянна скорост, при което движението на търсения обект зависи от произволно избран от алгоритъма ъгъл Θ ($0 \leq \Theta \leq 2\pi$).

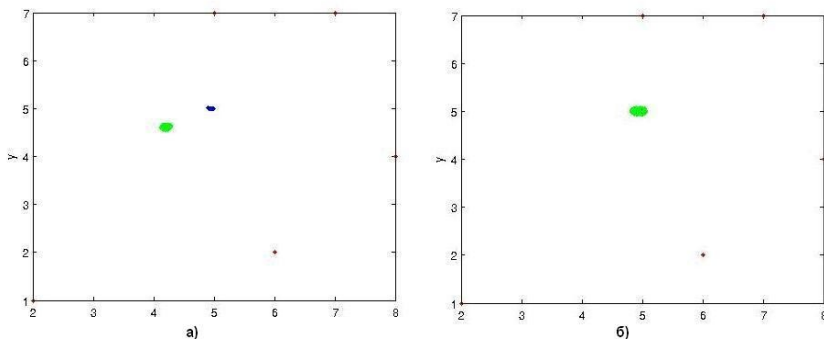
Изследванията са направени при 20 и 100 итерации на градиентния алгоритъм, като скоростта на движение на търсения обект е съответно 0,01; 0,1; 0,5; 1. Добавеният шум има стойности съответно $\sqrt{0,1}; \sqrt{0,01}; \sqrt{0,001}; \sqrt{0,0001}; \sqrt{0,00001}; \sqrt{0,000001}$. Решението за средно квадратичната грешка $\sigma_{\min}^2$ се получава в резултат на 100 симулационни итерации. Като резултат от програмната реализация на Matlab траекторията на търсения обект е представена с плътни точки, а координатите на известните обекти се получават като множество (сиво) в координатната система (фиг. 4).



Фиг. 4 Позицията на търсения обект и резултатите от програмата

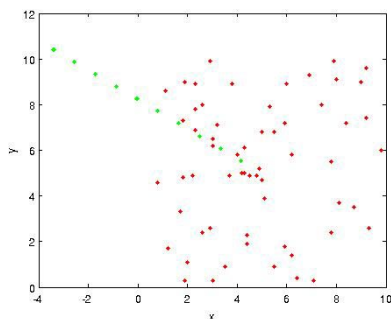
Например, ако броят на известните обекти е 5, добавеният шум е $\sqrt{0,1}$ и скоростта на движение е 0,5, то в началния момент координатите на търсения обект се определят с достатъчна точност. След известно време трудно се открива правилната позиция, тъй като обектът излиза от обсега на известните обекти, защото техният брой е малък по отношение на стойността на внесения шум.

В случай, че скоростта на търсения обект намалява (0,01) аналогично на нивото на добавения шум ($\sqrt{0,001}$), то от съществено значение за точността е броят на итерациите на градиентния алгоритъм. На фиг. 5 а) е показан случаят при 20 итерации, а на фиг. 5 б) - при 100 итерации. Увеличаването на броя на итерациите води до подобряване на позиционирането на движещия се обект.

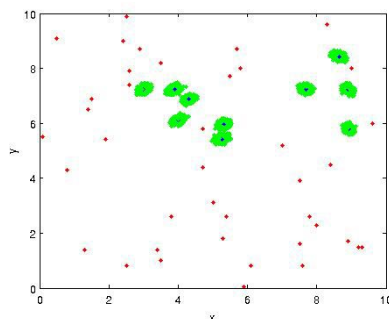


Фиг. 5 Резултат от програмата при брой итерации=20 (а) и брой итерации=100 (б)

Аналогични резултати се получават и при увеличаване на броя на обектите с известни координати. На фиг. 6 търсеният обект се движи със скорост = 1, при много малък добавен шум ($\sqrt{0,000001}$). Независимо че, обектът много бързо излиза от обсега на обектите с известни координати, позиционирането е точно поради големия брой на обектите с известни координати.



Фиг. 6 Резултат от тестването при брой известни обекти=60



Фиг. 7 Резултатът от програмата за намиране на търсения обект

Изследване при движение на обекта в произволна посока ($a \neq 0$). В този случай при $a=0,5$; скорост на движение на търсения обект 0,5; добавен шум $\sqrt{0,1}$; брой итерации 20, са получени резултати въз основа на 40 обекта с известни координати (фиг. 7).

Увеличаването на броя на известните обекти, намаляването на скоростта и стойността на добавения шум води до подобряване точността на позициониране,

независимо от малкия брой итерации на градиентния алгоритъм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощта на симулационен алгоритъм е изследвано позиционирането на неподвижни и движещи се обекти в сензорни мрежи. Резултатите доказват, че при малък брой известни обекти ($L < 50$) средно квадратичната грешка е значителна дори и при малка стойност на добавения шум.

Увеличаването на броя на обектите с известни параметри е обратно пропорционално на средно квадратичната грешка, за разлика от добавения шум увеличаването, на който води до нарастване на средно квадратичната грешка.

Симулационните резултати показват достатъчна точност на позиционирането при малък брой на итерации на градиентния алгоритъм, когато скоростта на движение на търсения обект е по-малка от единица.

Установено е, че предлаганият алгоритъм за непрекъснато позициониране може да бъде използван при еднопосочна и произволна скорост на движение на търсения обект, ако скоростта на движение е такава, че обектът се движи в обсега на сензорите с известни координати.

БЛАГОДАРНОСТ

Авторите изказват своята благодарност на проф. Хейди Стеендам от Университета в град Гент, Белгия за оказаното съдействие при подготовката на това изследване.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Caffery J. J., Wireless Location in CDMA Cellular Radio Systems, Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [2] Falsi C., D. Dardari, L. Mucchi and M. Z. Win, Time of arrival estimation for UWB localizers in realistic environments. EURASIP J. Applied Sig. Processing, vol. 2006.
- [3] Freund R.M., The Steepest Descent Algorithm for Unconstrained Optimization and a Bisection Line-search Method, Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- [4] Guvenc I., C. C. Chong and F. Watanabe, NLOS identification and mitigation for UWB localization systems. In Proc. IEEE Wireless Commun. Networking Conf. (WCNC), Hong Kong, Mar. 2007, pp. 3488–3492.
- [5] Mallat A., J. Louveaux and L. Vandendorpe, UWB based positioning in multipath channels: CRBs for AOA and for hybrid TOA-AOA based methods. In Proc. IEEE Int. Conf. on Commun. (ICC), Glasgow, Scotland, June 2007.
- [6] McGuire M., K. N. Plataniotis and A. N. Venetsanopoulos, Location of mobile terminals using time measurements and survey points. IEEE Trans. Veh. Technol., 2003.
- [7] Sahinoglu Z., Gezici S., Guvenc I., Ultra-wideband Positioning Systems, Cambridge, 2008.

За контакти:

Доц. д-р Михаил Илиев, Катедра “Комуникационна техника и технологии”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 673, e-mail: miliev@ecs.ru.acad.bg

Маг. инж. Иванка Цветкова, Катедра “Комуникационна техника и технологии”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, e-mail: ivanka1986@gmail.com

Гл. ас. д-р Нина Бенчева, “Комуникационна техника и технологии”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, e-mail: ninab@abv.bg

Проф. д-р Димитър Радев, Катедра “Комуникационна техника и технологии”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 673, e-mail: dradev@abv.bg

Докладът е рецензиран.