

УДК 656.025

## АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ПЕРЕСУВАНЬ МЕШКАНЦІВ МІСТА З ВИКОРИСТАННЯМ МАСИВУ ДАНИХ ТРАНСАКЦІЙ СИСТЕМ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

CALCULATION ALGORITHM MOVEMENTS URBANITES WITH ARRAY OF DATA  
TRANSACTIONS CELLULAR SYSTEMS

Андрій Білоус, Інна Демчук

Національний університет «Львівська політехніка»

79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

*The method for determining the parameters of passenger movements using data of users of mobile communication. An algorithm for constructing the matrix flow movement subscribers in the city.*

Для вдосконалення роботи міського пасажирського транспорту потрібна початкова інформація про ступінь використання рухомого складу та задоволення пасажирів, яку можна отримати шляхом обстеження пасажиропотоків. Метод використання даних позиціонування користувачів стільникового зв'язку якісно відрізняється від інших традиційних методів збору даних про кореспонденції пересування населення. Для його застосування немає потреби створювати власну систему збору та обліку інформації, потрібно лише отримати доступ до даних, які колектуються операторами стільникового зв'язку. Позитивним є і можливість аналізу даних в онлайн режимі. Крім цього, використання методу забезпечує анонімність даних користувачів стільникового зв'язку.

Особливість стільникового зв'язку полягає в тому, що зона покриття ділиться на «стільники», що визначається зонами покриття окремих базових станцій. Стільники частково перекриваються й разом утворюють мережу. На рівній і без забудови поверхні зона покриття однієї базової станції теоретично являє собою коло, тому складена з них мережа на практиці має вигляд шестикутних зон (бджолиних стільників). Мережу становлять рознесені в просторі антени, які працюють в одному частотному діапазоні, і комутувальне устаткування, що дозволяє визначати поточне місце розташування абонентів, які пересуваються, і забезпечувати безперервність зв'язку при переміщенні абонента із зони дії однієї антени в зону дії іншої.

Розглянемо міську територію, що складається з  $n$  стільників, кожному з яких відповідає певна антена  $A_i$   $\left( A_i = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}, \right)$   $(i = 1, \dots, n)$ . Кожна антена характеризується місцезнаходженням – географічними довготою та широтою її розташування  $(A_i \{lon_i; lat_i\})$ .

Об'єктом дослідження у роботі є користувачі стільникового зв'язку на території міста  $U_j$   $\left( U_j = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}, \right)$   $(j = 1, \dots, m)$ , що здійснюють трансакції. До них належать вхідні або вихідні sms-повідомлення, а також вхідні або вихідні дзвінки. Кожна трансакція характеризується порядковим номером користувача  $u_j$ , номером антени  $A_i$  та часом здійснення (приймання) дзвінка  $t$  чи отримання (надсилання) повідомлення  $(\{u_j, A_i, t\})$ .

Траєкторія руху кожного користувача  $u_j$  буде описуватися таким чином  $u_j |_{(t_s, A_i)}$  - користувач стільникового зв'язку  $u_j$  у момент часу  $t_s$  знаходиться у зоні дії антени  $A_i$  (рис.1). Тоді порядок зміни місць перебування користувача на траєкторії можна записати  $\{u_j |_{(t_s, A_i)}\}$ ,  $t_s = t_1, \dots, t_k$ , де  $\{u_j |_{(t_s, A_i)}\}$  - множина даних про зміну місцезнаходження користувачів стільникового зв'язку у часі.

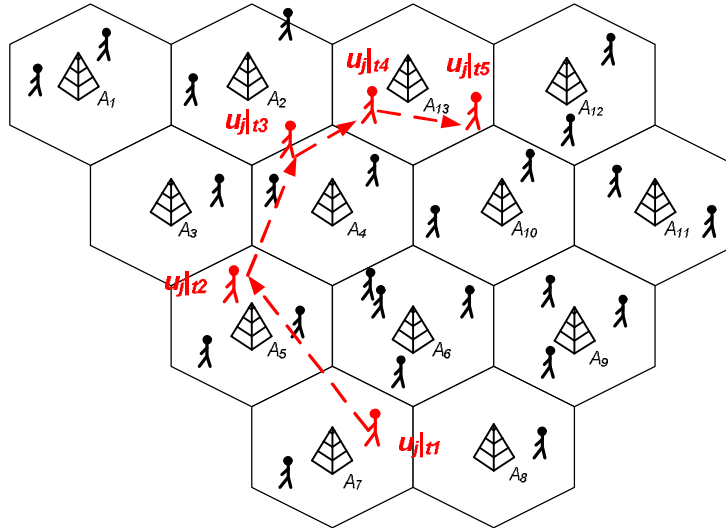


Рисунок 1. Траєкторія руху користувача стільникового зв'язку на міській території

Переміщення мешканців міста різними траєкторіями по його території формують пасажиропотоки. Пасажиропотоки переміщень мешканців ( $F_{ab}^T$ ) можна охарактеризувати матрицею їх пересувань (рис. 2) між антенами стільникового зв'язку ( $a = 1, \dots, n$ ;  $b = 1, \dots, n$ ) за кожен часовий інтервал ( $T = 1, \dots, C$ ). Часові інтервали обираємо залежно від досліджуваного періоду (години, доби, періоди доби, тижневі).

	$A_1$	$A_2$	...	$A_i$	...	$A_n$
$A_1$	$F_{11}$	$F_{12}$	...	$F_{1i}$	...	$F_{1n}$
$A_2$	$F_{21}$	$F_{22}$	...	$F_{2i}$	...	$F_{2n}$
...	...	...	...	...	...	...
$A_i$	$F_{i1}$	$F_{i2}$	...	$F_{ii}$	...	$F_{in}$
...	...	...	...	...	...	...
$A_n$	$F_{n1}$	$F_{n2}$	...	$F_{ni}$	...	$F_{nn}$

Рисунок 2. Матриця переміщень мешканців міста для кожного періоду  $T$

Алгоритм поділу траєкторій руху мешканців міста за періодами часу набуває такого вигляду:

```

for T = 1 to C
    if  $u_j |_{(t_s, A_i)} \in T$  then
         $u_j |_{(t_s, A_i)} = u_j |_{(t_s, A_i, T)}$ 
    end
end.
    
```

В результаті отримуємо множину користувачів стільникового зв'язку у кожний досліджуваний період часу, що описується їх порядковим номером, часом здійснення ними транзакції, номером антени, що зафіксувала цю транзакцію, та власне періодом часу  $\left\{ \left\{ u_j |_{(t_s, A_i, T)} \right\}^T, T = 1, \dots, C \right\}$ .

Кількість користувачів стільникового зв'язку, які в межах періоду  $T$  перемістились з зони дії антени  $a$  у зону дії антени  $b$  описується виразом:

$$F_{ab}^T = \left\{ \sum_{u=1}^m u_j / A_a (t_s \rightarrow t_{\min}^T) \right\} \cap A_b \left\{ (t_s \rightarrow t_{\max}^T) \right\}, \quad (2)$$

де  $t_{\min}^T, t_{\max}^T$  - відповідно нижня та верхня межа часового інтервалу у періоді  $T$ .

Для побудови матриці потоків переміщень користувачів стільникового зв'язку для кожного періоду  $T$  використовуємо такий алгоритм:

```

for T = 1 to C
    for u = 1 to  $U^T$ 
         $t_{\min}^{\text{exp}} = t_{\max}^T; t_{\max}^{\text{exp}} = t_{\min}^T$ 
        for d = 1 to  $n(u_j^T)$ 
            if  $t_s |_{u_j} < t_{\min}^{\text{exp}}$  and  $t_s |_{u_j} > t_{\min}^T$ 
                then  $t_{\min}^{\text{exp}} = t_s |_{u_j}$ 
            if  $t_s |_{u_j} > t_{\max}^{\text{exp}}$  and  $t_s |_{u_j} < t_{\max}^T$ 
                then  $t_{\max}^{\text{exp}} = t_s |_{u_j}$ 
            end
             $F_{ab}^T = F_{ab}^T + 1; a = A_i |_{\{u_j, t_{\min}^{\text{exp}}\}}; b = A_i |_{\{u_j, t_{\max}^{\text{exp}}\}}$ 
        end
    end.
end.
    
```

У програмі алгоритму змінною  $U^T$  позначено кількість користувачів стільникового зв'язку, які мали транзакції в межах періоду  $T$ ;  $t_{\min}^{\text{exp}}, t_{\max}^{\text{exp}}$  - відповідно мінімальний та максимальний час здійснення транзакції у зоні дії антени;  $n(u_j^T)$  - кількість транзакцій користувача  $u_j$  в межах періоду  $T$ .

Як показує досвід закордонних наукових публікацій з маршрутизації пасажирських перевезень, у яких використовуються аналогічні підходи щодо визначення пересувань міського населення і формування раціональних маршрутів громадського транспорту, у роботі прийнято оптимізувати такі маршрути для вітчизняних великих міст, опираючись на цей досвід. Використання розробленого алгоритму дасть можливість адекватно оцінити фактичні обсяги пересувань мешканців міста.