

MODELAREA FUNCȚIONĂRII LINIEI DE TRANSPORT PUBLIC ÎN BAZA TEORIEI FIRELOR DE AȘTEPTARE

Autor: Eduard AMBROSI

Conducător științific: conf.univ., dr. Tudor ALCAZ

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: În lucrare se expune modelul liniei de transport public, bazat pe teoria firelor de așteptare și utilizat pentru optimizarea funcționării rețelelor de transport de pasageri

Cuvinte cheie: model, transport, optimizare, rețea, fire de așteptare

1. Introducere

În prezent una dintre metodele cele mai potrivite pentru simularea funcționării sistemelor de transport este modelarea matematică.

Simularea urbană modernă este un sistem de modelare a utilizării resurselor, care face apel la teorii elaborate în matematicile aplicate, inclusiv la teoria firelor de așteptare [1]. Teoria nominalizată este instrumentul principal aplicat pentru analiza fenomenelor de congestie care apar atunci când numărul cererilor poate depăși capacitatea de servire.

În general, orice sistem de servicii reprezintă un sistem de așteptare în care fiecare client beneficiază de serviciul solicitat conform regulilor și într-o ordine stabilite.

În practică, teoria firelor de așteptare este folosită în special pentru a evidenția disfuncționalitățile care pot apărea în cadrul unui sistem în funcțiune și pentru a arăta direcțiile de creștere a randamentului funcționării lui. Principalul avantaj al teorii așteptării este obținerea unor informații importante despre timpii de așteptare cauzați de sistem pe baza unor date minime despre caracteristicile sosirilor în sistem, caracteristicile stațiilor de servire și disciplina sistemului.

Parametrii sistemelor de așteptare în condiții de suprasolicitare joacă un rol important în percepția consumatorilor privind calitatea serviciilor. Timpii de așteptare și întârzierile sunt inevitabile în cadrul acelor sisteme de așteptare care răspund unor cereri aleatoare a căror apariție în timp și spațiu este determinată de anumite legi probabilistice. A oferi, în cadrul unui sistem de așteptare, capacități de servire suficiente pentru a evita așteptările în orice circumstanțe, implică costuri prea mari.

Din aceste motive, teoria firelor de așteptare este suportul cel mai util pentru proiectarea unor sisteme de servire care să asigure un echilibru între costurile de operare și timpii de așteptare ai utilizatorilor sistemului.

Cele menționate sunt valabile în totalitate și pentru sistemul de așteptare, caracteristic sistemelor de transport public de pasageri.

2. Model probabilistic al stației de transport public

Elementul de bază al modelului prezentat în continuare este stația de transport public, modelată ca un sistem clasic de așteptare.

Se precaută un sistem de așteptare cu mai multe canale de servire, timpi nelimitați de așteptare și număr variabil de canale de servire. Intrările în sistem vor fi modelate de o variabilă aleatoare a cărei lege de repartiție este repartiția Poisson cu parametrul λ . Servirea are loc instantaneu doar în momente prestabilite de timp, intervalele dintre momentele de servire fiind independente, corespunzătoare distribuției normale Gauss cu parametrii m și σ . Numărul maxim de serviri în momentul de timp i este o variabilă aleatoare cu distribuție uniformă în intervalul $[0, \xi_{max}]$.

Se cere ca prim metoda stochastică să se determine timpul mediu de servire, numărul mediu de clienți în firul de așteptare și numărul mediu de canale neocupate.

În cazul analizat clienții sunt reprezentați de pasagerii în așteptare din stația de transport public, canalele de servire reprezintă locurile libere neocupate din vehiculul intrat în stație, momentele servirii sunt momentele de timp de sosire a vehiculelor în stație, perioada de servire – intervalul de timp dintre două sosiri successive ale vehiculelor în stație.

Presupunem că în momentul începutului servirii grupului n de cereri de servire în firul de așteptare sunt q_n cereri de servire (pasageri). În acest caz valoarea q_n se determină cu următoarea relație recurentă:

$$q_n = \begin{cases} q_n \square_0 \square_{n1} & \text{dacă } q_n \square \square_n, \\ \square_{n1} & \text{dacă } 0 \square q_n \square \square_n. \end{cases} \quad (1)$$

în care: η_n – numărul total de cereri de servire din grupul n ; ξ_{n+1} – numărul de cereri intrate în firul de servire din momentul începerii servirii grupul n de cereri.

Valoarea intervalului de timp dintre două serviri succesive ca variabilă aleatoare se determină cu formula:

$$I = t_{s,p} + t_i + t_d, \quad (2)$$

unde: $t_{s,p}$ este o variabilă cu distribuție normală și reprezintă timpul de deplasare a vehiculului de la stația precedentă la stația curentă, t_i , t_d - timpurile de îmbarcare, și, respectiv, debarcare a pasagerilor.

Evident, timpul de îmbarcare este direct proporțional cu numărul n_i de pasageri îmbarcați:

$$n_i = \begin{cases} q_n & \text{pentru } 0 \leq q_n \leq n \\ n & \text{pentru } q_n > n \end{cases}, \quad (3)$$

Timpul de debarcare din vehicul este determinat de numărul n_d de pasageri debarcați, valoare aleatoare, distribuită uniform în intervalul $[0, n_{dn}]$, constant pentru oprirea analizată.

Valoarea aleatorie ξ_{n+1} reprezintă numărul de cereri de servire, intrate în firul de așteptare în perioada I dintre două serviri succesive, corespunde repartiției Poisson.

3. Modelul liniei de transport public

Modelarea funcționării unei linii de transport de pasageri ca serviciu public și ca sistem de așteptare presupune stabilirea exactă a ordinii de calcul pentru fiecare dintre opririle liniei analizate și pentru fiecare vehicul emis la linie. Procedura de calcul constă în analiza consecutivă a trecerii fiecărui vehicul în ordinea stabilită la emisie prin consecutivitatea de stații ale liniei.

Presupunem că linia include m stații, inclusiv stațiile inițială și terminus, și este deservită de k vehicule.

Este stabilită sarcina determinării caracteristicilor liniei în intervalul de timp I , în limitele cărora parametrii modelului sunt staționari.

Pentru modelarea caracteristicilor de intrare a stației inițiale a liniei analizate este obligatoriu să se cunoască parametrii fluxului de călători în perioada intervalului de circulație la linie. Astfel, momentul pornirii vehiculului i din stația inițială se determină cu relația:

$$t_i \leq (i-1)I t_i, \quad i \leq 1, \quad (4)$$

$$k$$

în care: t_i este timpul de îmbarcare a pasagerilor în stația inițială în vehiculului i .

Datele inițiale pentru modelarea circulației vehiculelor pentru următoarele stații ale liniei analizate se determină astfel. Cunoscând timpii de pornire a vehiculului i din stația $(j-1)$ și a vehiculului $(i-1)$ din stația j , poate fi calculat intervalul de timp dintre etapele $(i-1)$ și i în stația j a liniei. Numărul de canale libere de servire, a numărului de locuri libere din vehiculul analizat, este determinat din încărcarea vehiculului la stația precedentă. Parametrii stației terminus nu sunt critici în modelul descris deoarece toți pasagerii sunt debarcați în timp util.

Determinând caracteristicile liniei de transport public în baza modelului expus pentru diferite valori ale numărului de vehicule la rută, din multitudinea de variante poate fi ales modul de servire care minimizează timpii de servire, astfel asigurându-se calitatea deservirii și utilizarea rațională a resurselor.

4. Controlul valorii coeficientului de îmbarcare

Modelul dat presupune excluderea cazurilor de suprasolicitare a canalelor de servire pentru asigurarea calității transportului publicului călător. Pe de altă parte utilizarea la maxim a capacităților de servire pentru minimizarea timpului de servire este un alt deziderat al modelului.

Controlul valorii coeficientului de îmbarcare este realizat urmărind respectarea următoarei inegalități:

$$\sum_{j=1}^r (P_{jk} Q_{jk}) \leq q_k, \quad r \leq 1, \quad (5)$$

$$n_k$$

în care: q_k este capacitatea nominală de îmbarcare a modelului de vehicul, antrenat la deservirea liniei k ,

n_k - numărul total de stații la linia analizată.

Relația (5) poate fi transcrisă astfel:

$$\frac{\sum_{j=1}^r (P_{jk} Q_{jk})}{q_k} \leq \frac{r}{n_k} \quad (6)$$

în care: η_{jk} este valoarea maximă a coeficientului de îmbarcare, stabilită în standardele de calitate a servirii pentru perioadele de vârf în transporturile de pasageri.

În concluzie, modelul funcțional al liniei de transport public, expus în prezenta lucrare, asigură optimizarea numărului de vehicule la rută în condițiile minimizării timpilor de servire a publicului călător și respectării indicatorilor de calitate a serviciilor de transport public.

Bibliografie:

1. V.Poroseatcovschii, Gh.Ambrosi, Schedule optimization on routes services of public passenger transport, Meridian Ingineresc, nr. 4, 2011, pag.63-65

2. V.Poroseatcovschii, Gr. Ambrosi, Gh.Ambrosi, Model imitațional al rutei de transport public, Materialele Conferinței Științifice ”Transport: economie, inginerie și management”, Chișinău, UTM, 2010, p.34-36

Din aceste motive, teoria firelor de așteptare este suportul cel mai util pentru proiectarea unor sisteme de servire care să asigure un echilibru între costurile de operare și timpii de așteptare ai utilizatorilor sistemului.

Cele menționate sunt valabile în totalitate și pentru sistemul de așteptare, caracteristic sistemelor de transport public de pasageri.

2. Model probabilistic al stației de transport public

Elementul de bază al modelului prezentat în continuare este stația de transport public, modelată ca un sistem clasic de așteptare.

Se precaută un sistem de așteptare cu mai multe canale de servire, timpî nelimitați de așteptare și număr variabil de canale de servire. Intrările în sistem vor fi modelate de o variabilă aleatoare a cărei lege de repartiție este repartiția Poisson cu parametrul λ . Servirea are loc instantaneu doar în momente prestabilite de timp, intervalele dintre momentele de servire fiind independente, corespunzătoare distribuției normale Gauss cu parametrii m și σ . Numărul maxim de serviri în momentul de timp i este o variabilă aleatoare cu distribuție uniformă în intervalul $[0, \xi_{max}]$.

Se cere ca prim metoda stochastică să se determine timpul mediu de servire, numărul mediu de clienți în firul de așteptare și numărul mediu de canale neocupate.

În cazul analizat clienții sunt reprezentați de pasagerii în așteptare din stația de transport public, canalele de servire reprezintă locurile libere neocupate din vehiculul intrat în stație, momentele servirii sunt momentele de timp de sosire a vehiculelor în stație, perioada de servire – intervalul de timp dintre două sosiri successive ale vehiculelor în stație.

Presupunem că în momentul începutului servirii grupului n de cereri de servire în firul de așteptare sunt q_n cereri de servire (pasageri). În acest caz valoarea q_n se determină cu următoarea relație recurentă:

$$q_n = \begin{cases} q_n - \eta_0 + \xi_{n+1} & \text{dacă } q_n \geq \eta_n, \\ \xi_{n+1} & \text{dacă } 0 \leq q_n \leq \eta_n. \end{cases} \quad (1)$$

în care: η_n – numărul total de cereri de servire din grupul n ; ξ_{n+1} – numărul de cereri intrate în firul de servire din momentul începerii servirii grupul n de cereri.

Valoarea intervalului de timp dintre două serviri succesive ca variabilă aleatoare se determină cu formula:

$$I = t_{s,p} + t_i + t_d, \quad (2)$$

unde: $t_{s,p}$ este o variabilă cu distribuție normală și reprezintă timpul de deplasare a vehiculului de la stația precedentă la stația curentă, t_i , t_d - timpurile de îmbarcare, și, respectiv, debarcare a pasagerilor.

Evident, timpul de îmbarcare este direct proporțional cu numărul n_i de pasageri îmbarcați:

$$n_i = \begin{cases} q_n & \text{pentru } 0 \leq q_n \leq \eta_n, \\ \eta_n & \text{pentru } q_n > \eta_n. \end{cases} \quad (3)$$

Timpul de debarcare din vehicul este determinat de numărul n_d de pasageri debarcați, valoare aleatoare, distribuită uniform în intervalul $[0, n_{dn}]$, constant pentru oprirea analizată.

Valoarea aleatorie ξ_{n+1} reprezintă numărul de cereri de servire, intrate în firul de așteptare în perioada I dintre două serviri succesive, corespunde repartiției Poisson.

3. Modelul liniei de transport public

Modelarea funcționării unei linii de transport de pasageri ca serviciu public și ca sistem de așteptare presupune stabilirea exactă a ordinii de calcul pentru fiecare dintre opririle liniei analizate și pentru fiecare vehicul emis la linie. Procedura de calcul constă în analiza consecutivă a trecerii fiecărui vehicul în ordinea stabilită la emisie prin consecutivitatea de stații ale liniei.

Presupunem că linia include m stații, inclusiv stațiile inițială și terminus, și este deservită de k vehicule.

Este stabilită sarcina determinării caracteristicilor liniei în intervalul de timp I , în limitele cărora parametrii modelului sunt staționari.

Pentru modelarea caracteristicilor de intrare a stației inițiale a liniei analizate este obligatoriu să se cunoască parametrii fluxului de călători în perioada intervalului de circulație la linie. Astfel, momentul pornirii vehiculului i din stația inițială se determină cu relația:

$$t_i = (i-1)I + t_i, \quad i=1, k \quad (4)$$

în care: t_i este timpul de îmbarcare a pasagerilor în stația inițială în vehiculului i .

Datele inițiale pentru modelarea circulației vehiculelor pentru următoarele stații ale liniei analizate se determină astfel. Cunoscând timpii de pornire a vehiculului i din stația $(j-1)$ și a vehiculului $(i-1)$ din stația j , poate fi calculat intervalul de timp dintre etapele $(i-1)$ și i în stația j a liniei. Numărul de canale libere de servire, a numărului de locuri libere din vehiculul analizat, este determinat din încărcerea vehiculului la stația precedentă. Parametrii stației terminus nu sunt critici în modelul descris deoarece toți pasagerii sunt debarcați în timp util.

Determinând caracteristicile liniei de transport public în baza modelului expus pentru diferite valori ale numărului de vehicule la rută, din multitudinea de variante poate fi ales modul de servire care minimizează timpii de servire, astfel asigurându-se calitatea deservirii și utilizarea rațională a resurselor.

4. Controlul valorii coeficientului de îmbarcare

Modelul dat presupune excluderea cazurilor de suprasolicitare a canalelor de servire pentru asigurarea calității transportului publicului călător. Pe de altă parte utilizarea la maxim a capacităților de servire pentru minimizarea timpului de servire este un alt deziderat al modelului.

Controlul valorii coeficientului de îmbarcare este realizat urmărind respectarea următoarei inegalități:

$$\sum_{j=1}^r (P_{jk} - Q_{jk}) \leq q_k, \quad r = 1, n_k \quad (5)$$

în care: q_k este capacitatea nominală de îmbarcare a modelului de vehicul, antrenat la deservirea liniei k ,

n_k - numărul total de stații la linia analizată.

Relația (5) poate fi transcrisă astfel:

$$\frac{\sum_{j=1}^r (P_{jk} - Q_{jk})}{q_k} \leq \eta_{jk} \quad (6)$$

în care: η_{jk} este valoarea maximă a coeficientului de îmbarcare, stabilită în standardele de calitate a servirii pentru perioadele de vârf în transporturile de pasageri.

În concluzie, modelul funcțional al liniei de transport public, expus în prezenta lucrare, asigură optimizarea numărului de vehicule la rută în condițiile minimizării timpilor de servire a publicului călător și respectării indicatorilor de calitate a serviciilor de transport public.

Bibliografie:

1. V.Poroseatcovschii, Gh.Ambrosi, Schedule optimization on routes services of public passenger transport, Meridian Ingineresc, nr. 4, 2011, pag.63-65

2. V.Poroseatcovschii, Gr. Ambrosi, Gh.Ambrosi, Model imitațional al rutei de transport public, Materialele Conferinței Științifice ”Transport: economie, inginerie și management”, Chișinău, UTM, 2010, p.34-36