TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO

Jacek BOROWIAK, Alicja WĄSOWICZ, Ireneusz JĘDRA

PROJEKTOWANIE SYSTEMÓW I PROCESÓW LOGISTYCZNYCH Z WYKORZYSTANIEM DANYCH STATYSTYCZNYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono algorytm modelowania statystycznego systemów i procesów logistycznych. Bazując na aktualnych danych statystycznych w postaci np.: momentów, liczby i wielkości zgłoszeń, czasów między zgłoszeniami, czasów ich obsługi w danym okresie czasu, można prześledzić wiele wariantów realizacji działań logistycznych, dzięki czemu można projektować systemy odpowiednie do potrzeb.

WSTĘP

Systemy i procesy logistyczne łączą przedmioty pracy i środki pracy w celu osiągnięcia zamierzonego celu przy możliwie największej wydajności personelu, parku transportowego, oprzyrządowania, powierzchni itp. Odpowiednia ich organizacja jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania systemów transportowych czy dystrybucyjnych.

Jednym ze sposobów usprawniających systemy i procesy logistyczne jest skrócenie czasu obsługi zgłoszeń (zapotrzebowania na obsługę) poprzez dobór właściwej liczby pracowników i środków transportowych niezbędnych do obsługi przyjęcia, kompletacji, wydania zamówień, załadunków, transportu, wyładunków i innych czynności koniecznych do ich realizacji.

Liczebność personelu i środków transportu na cele obsługi wydań i dostaw towarów powinna być dostosowana do potrzeb. Potrzeby te wynikają z intensywności napływających zgłoszeń/zamówień oraz ich wielkości (waga/kubatura). Czynniki te bezpośrednio wpływają na moment, kiedy powstaje zapotrzebowanie na obsługę, ile czasu ona trwa i w jakiej liczbie ludzie i środki transportowe powinny być do niej oddelegowane.

Na bazie istniejących systemów logistycznych i zachodzących w nich procesów można zebrać wiele użytecznych danych statystycznych jak np. liczby i wielkości zgłoszeń, czasy między zgłoszeniami, czasy ich obsługi, liczby pracowników i środków transportowych, które je obsługiwały i na ich podstawie konstruować prawdopodobne modele systemów logistycznych. Zmieniając poszczególne parametry modelowanego systemu można prześledzić wiele wariantów jego organizacji oraz szacować niezbędne do jego funkcjonowania składowe, takie jak liczba pracowników obsługi, czy też liczba pojazdów transportowych.

1. DLACZEGO MODELOWANIE STATYSTYCZNE

Systemy działań logistycznych są bardzo złożone. Występuje w nich wiele zmiennych, mających losowy charakter: wejściowy strumień zgłoszeń (czasy między zgłoszeniami), czasy obsługi zgłoszenia, liczby potrzebnych pracowników obsługi, pojazdów itp. Powoduje to, że modelując ten system należy określić ich prawdopodobieństwa występowania. Można wykorzystać do tego celu statystyki zaistniałych zdarzeń z poprzednich okresów czasu, które miały miejsce w badanym systemie lub istniejących innych podobnych systemach.

Napływające do systemu logistycznego zgłoszenia zwykle mają charakter stochastyczny. Pojawiają się w sposób losowy, często w momentach trudnych do przewidzenia. Podobnie jest z ich wielkością (wagą/kubaturą), mającą wpływ na czas obsługi (kompletacji, załadunku, transportu, wyładunku), oraz liczbę potrzebnych pracowników czy środków transportowych. Ta zmienność i losowość powoduje, że zaprojektowanie systemu odpowiedniego do potrzeb powinno uwzględniać prawdopodobieństwo występowania zgłoszeń o danych parametrach.

Systemy logistyczne, realizujące zgłoszenia (procesy kompletacji, załadunku, transportu, wyładunku) mogą być traktowane jak wielokanałowe system masowej obsługi. Ich organizacja zawiera w sobie elementy probabilistyczne. Aby je opisać w matematyczny sposób, należy sformalizować losowo pojawiające się zgłoszenia i ich parametry tak, aby można było przyporządkować je modelom znanym w teorii prawdopodobieństwa. Jednak tutaj pojawia się trudność. Znane z teorii masowej obsługi modele, oparte są na precyzyjnym określeniu rozkładu strumienia wejściowego zgłoszeń oraz czasu obsługi. Większość z nich dotyczy jednak przypadków, gdzie zmienne losowe jakimi są odcinki czasu między zgłoszeniami i czasy obsługi są opisywane przez rozkład wykładniczy (strumień Poissona). Systemy z innymi rozkładami tych zmiennych są trudne do zastosowania w praktyce. I tak też jest w przypadku systemów logistycznych, gdzie rozkłady zmiennych zwykle znacznie odbiegają od wyżej wspomnianych ściśle matematycznie opisanych wzorów.

Wierne odwzorowanie wszystkich zjawisk niesie za sobą kolejne trudności ze względu na chociażby różnorodność zgłoszeń, różnorodność środków transportowych i ich wydajności czy wydajności pracowników obsługi, które mają bezpośredni wpływ na czasy obsługi zgłoszeń. Dlatego modelując i symulując działania logistyczne zachodzące w systemach logistycznych trzeba niektóre wielkości uśrednić, a także przyjąć dodatkowe założenia, pozwalające uprościć ten proces, np. że delegowani do obsługi zgłoszeń pracownicy charakteryzują się taką samą wydajnością, środki transportowe są jednakowe lub, że każda dostawa/wydanie jest obsługiwane przez jeden środek transportu.

Po odpowiednim sformalizowaniu poszczególnych zmiennych modelu oraz relacji zachodzących między nimi powstanie model probabilistyczny systemu, na którym można prowadzić dalsze badania.

Obserwacja wpływu tak skonstruowanych zmiennych na system pozwala na oszacowanie jego parametrów, takich jak liczby potrzebnych środków transportu i ludzi do obsługi napływających zgłoszeń. Zmieniając charakterystyki zmiennych można badać różne warianty organizacyjne systemu i jego zdolność sprostania obsłudze zgłoszeń o prawdopodobnej intensywności, kubaturze, wadze.

2. MODELOWANIE SYSTEMU I PROCESU LOGISTYCZNEGO

Chcąc badać istniejący system logistyczny, zmienne losowe takie jak czasy między zgłoszeniami, liczby środków transportu i pracowników obsługi, czasy obsługi można opracować na podstawie statystyk z poprzednich okresów czasu, jakie wystąpiły w tym systemie. Jeśli natomiast celem jest budowa nowego systemu, to należałoby pobrać statystyki

z istniejących podobnych systemów. Uzyska się w ten sposób pewne przybliżenie i prawdopodobne rezultaty.

Poniżej przedstawiono uproszczony proces modelowania systemu logistycznego, w tym konstruowania zmiennych losowych go opisujących, na podstawie danych pozyskanych z wybranego centrum logistycznego. Do konstrukcji zmiennych losowych wykorzystano dane rzeczywiste, tj. statystyki opisujące rzeczywisty system.

W systemie obsługi powstających losowo zgłoszeń (dostaw/wydań) kolejno przybywające dostawy lub zgłoszenia wydania towarów to strumień napływających zgłoszeń, wózki widłowe oraz pracownicy delegowani do obsługi dostaw/wydań to kanały obsługi, zaś czasy obsługi dostawy/wydania towarów to czasy trwania obsługi.

Na podstawie zgromadzonych statystyk, dotyczących obsłużonych dostaw/wydań przez wózki widłowe, ustala się następujące parametry wejściowe systemu:

- liczba zgłoszeń K o wpłynięciu dostawy lub zapotrzebowania na wydanie towarów, które wpłynęły do systemu w wybranym okresie,
- terminy zgłoszeń,
- czasy obsługi to_k każdej dostawy lub zapotrzebowania na wydanie towarów.

Powyższe dane wejściowe służą do obliczeń oraz konstrukcji niezbędnych dystrybuant empirycznych, charakteryzujących system.

Zajętość kanałów obsługi (wózków) oraz pracowników powstaje w wyniku napływających zgłoszeń o dostawie/wydaniu. Zgłoszenia napływają do systemu w sposób stochastyczny tworząc strumień wejściowy zgłoszeń. Wchodzący strumień zgłoszeń charakteryzuje jego intensywność $\lambda>0$, która określa liczbę powstałych zgłoszeń w jednostce czasu. Jest ona wyznaczana na podstawie terminów wejścia zgłoszeń do systemu, z czego wyznacza się odcinki czasu t między kolejno napływającymi zgłoszeniami. Kiedy zdarza się, że więcej niż jedno zgłoszenie przybywa w jednej chwili, odcinek czasu między takimi zgłoszeniami wynosi 0. Odcinki czasu t są zmiennymi losowymi, mającymi charakter ciągły, o nieznanym rozkładzie.

W dalszej kolejności należy pogrupować te odcinki czasu w przedziały klasowe i na podstawie ich liczebności l_t w każdym przedziale, należy obliczyć częstości względne f_t ich występowania wg zależności (1).

$$f_t = \frac{l_t}{K-1} \tag{1}$$

gdzie:

f_t – częstość względna odcinków czasu t miedzy zgłoszeniami, mieszczących się w danym przedziale klasowym,

l_t - liczebność odcinków czasu t dla danego przedziału klasowego,

K – liczba wszystkich zgłoszeń.

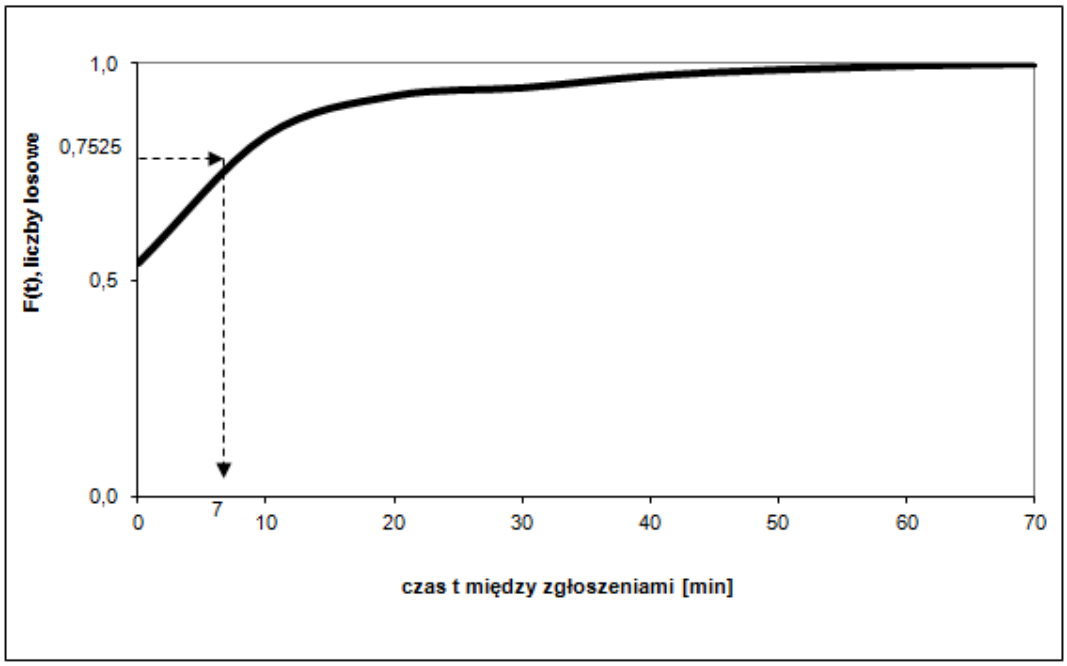
Sumując kolejne wartości częstości f_t, otrzymuje się wartości dystrybuanty empirycznej $F(t)$. Schemat przykładowej dystrybuanty $F(t)$ przedstawiono na rys.1.

Proces jej konstrukcji polega na tym, że na osi rzędnych odkłada się liczby losowe z rozkładu równomiernego z przedziału [0,1], które pokrywają się z wartościami dystrybuanty $F(t)$. Natomiast na osi odciętych odkłada się czas t między zgłoszeniami, który odpowiada wartościom z końców każdego przedziału. Sporządzona tak dystrybuanta $F(t)$ służy do wyznaczania terminów tp wejścia kolejnych zgłoszeń do systemu.

Modelując procesu wejścia zgłoszeń do systemu za początek symulacji przyjmuje się godzinę 0. Wyznaczenie terminu wpłynięcia pierwszego zgłoszenia tp_1, wymagającego obsługi, polega na wylosowaniu, z wykorzystaniem generatora liczb losowych o rozkładzie równomiernym, liczby losowej z przedziału [0,1]. Następnie prowadzi się prostą równoległą

do osi odciętych aż do przecięcia z krzywą dystrybuanty *F(t)*. Z osi odciętych odczytuje się czas *t*, jaki upłynął od godziny *0* do wejścia pierwszego zgłoszenia. Otrzymuje się w ten sposób termin wejścia pierwszego zgłoszenia tp_1 wg zależności (2).

$$tp_1 = 0 + t \tag{2}$$



Rys. 1. Dystrybuanta F(t) odcinków czasu t między zgłoszeniami

Terminy wejścia kolejnych zgłoszeń do systemu, które są jednocześnie terminami początku obsługi, określa się w analogiczny sposób, z tą jednak różnicą, że odczytany z osi odciętych dystrybuanty czas *t* dodaje się do terminu wejścia poprzedniego zgłoszenia wg zależności (3).

$$tp_k = tp_{k-1} + t \tag{3}$$

Kiedy przybywa dostawa lub zgłoszenie o powstaniu zapotrzebowania na wydanie towarów, rozpoczyna się jego obsługa. Obsługa zgłoszenia, wykonywana przez dowolny kanał (wózek) lub kanały, a także pracownika lub pracowników ma losowy czas trwania, zależny od kubatury, wagi i specyfikacji zgłoszenia.

Jeżeli wózek lub pracownik obsługi jest zajęty przy innym zgłoszeniu, nie może on być oddelegowany do obsługi innego zgłoszenia, co oznacza, że w danej chwili dany pojazd bądź pracownik może być zajęty obsługą tylko jednego zgłoszenia. Wózek bądź pracownik staje się w pełni dyspozycyjny do kolejnego zgłoszenia dopiero po zakończeniu obsługi zgłoszenia poprzedniego. Przydzielone do obsługi zgłoszenia wózki lub pracownicy są zajęte przez okres czasu zwany czasem obsługi zgłoszenia.

Czas obsługi zgłoszenia *to* jest zmienną losową o charakterze ciągłym. Przyjmuje ona wartości ze zbioru liczb rzeczywistych dodatnich R^+. Do modelowania kolejnych czasów obsługi *to* należy opisać prawdopodobieństwo ich powstawania, a więc określić ich dystrybuantę.

Zebrane dane statystyczne, dotyczące czasów obsługi *to* zgłoszeń należy pogrupować w przedziały klasowe i na podstawie ich liczebności r_{to} w każdym przedziale, oblicza się częstości względne ich występowania wg zależności (4).

$$c_{to} = \frac{r_{to}}{z} \tag{4}$$

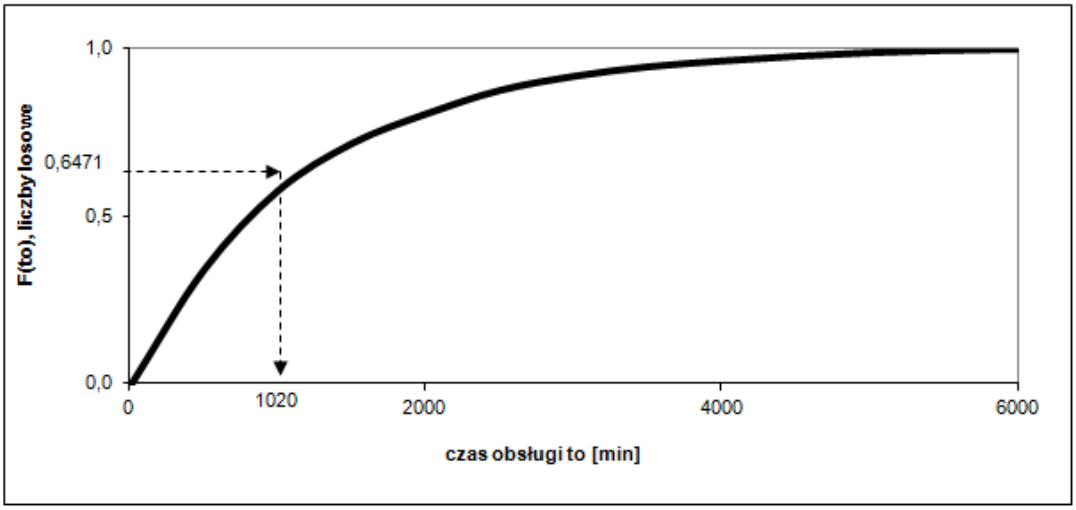
gdzie:

c_{to} - częstość względna czasu obsługi *to*,
r_{to} - liczba zgłoszeń obsłużonych w czasie *to*,
z – liczba wszystkich zgłoszeń w analizowanym okresie.

Do wyznaczania czasów obsługi proponuje się wykorzystać aktualne dane statystyczne, gdyż one najlepiej ilustrują możliwości obecnie posiadanego wyposażenia i personelu.

Na podstawie statystyk realizacji zmiennej czasu obsługi *to* i obliczonych częstości względnych c_{to}, sporządza się dystrybuantę empiryczną *F(to)* czasu obsługi. Na rys.2 przedstawiono przykład takiej dystrybuanty.

Na osi rzędnych dystrybuanty *F(to)* umieszcza się liczby losowe. Generując liczby losowe z rozkładu równomiernego z przedziału [0,1], z osi odciętych odczytuje się czas obsługi zgłoszenia to_k.



Rys. 2. Dystrybuanta F(to) czasu obsługi to

Znając termin wejścia *k*-tego zgłoszenia do systemu tp_k oraz czas jego obsługi to_k można wyznaczyć termin zakończenia obsługi tz_k tego zgłoszenia wg zależności (5).

$$tz_k = tp_k + to_k \tag{5}$$

gdzie:

tz_k - termin zakończenia obsługi zgłoszenia *k*,
tp_k - termin początku obsługi zgłoszenia *k*,
to_k – czas obsługi zgłoszenia *k*.

Termin tz_k zakończenia obsługi zgłoszenia oznacza, że użyty do jego obsługi wózek lub pracownik staje się ponownie wolny i może on zostać użyty do obsługi kolejnych zgłoszeń.

W podobny sposób można konstruować inne dystrybuanty zmiennych losowych, charakteryzujących zgłoszenia np. liczby użytych pojazdów i ludzi do obsługi. Można powiązać wielkości zgłoszeń z konieczną do obsługi liczbą pojazdów i pracowników.

PODSUMOWANIE

Wiele złożonych zadań technicznych można modelować wykorzystując podejście probabilistyczne. Projektując odpowiednio procesy stochastyczne, odwzorowujące zachodzące zjawiska i następnie przeprowadzając symulację statystyczną można uzyskać zadowalający wynik, zbliżony do rzeczywistości.

Zadaniem modelowania działań logistycznych jest możliwość obserwacji zachodzących zjawisk w badanym istniejącym lub projektowanym systemie.

Głównym powodem wyboru metody opartej na danych statystycznych do modelowania systemów i procesów logistycznych jest losowy charakter badanych zjawisk. Proces modelowania jak i symulacji działania można opracować w dogodnej formie algorytmicznej, dającej się łatwo przełożyć na język programowania, aby można było wykorzystać komputery.

Badania symulacyjne modeli, skonstruowanych w powyższy sposób, dają możliwość obserwowania jak na przestrzeni modelowanego okresu czasu kształtują się parametry systemu, takie jak np. liczby potrzebnych pojazdów i pracowników. Okresy, gdy występuje więcej zgłoszeń i o większych rozmiarach, system wymaga wyposażenia w większą liczbę wózków i pracowników. Przede wszystkim ważne jest jakie są ich maksymalne wartości w najbardziej obciążających system momentach. Na ich podstawie można wnioskować o zdolności systemu do spełnienia powstałych potrzeb na obsługę napływających zgłoszeń. Obserwacja tych ekstremalnych wartości pozwala planować wyposażenie i poziom zatrudnienia do nich dostosowany, zapewniając jednocześnie pożądany poziomu obsługi klienta.

LOGISTIC SYSTEMS AND PROCESSES DESIGN WITH USE STATISTIC DATA

Abstract

The article presents the statistical modelling algorithm for the logistic systems and processes. Using current statistics such as: the number, moments and size of notifications, the time between notifications, service times in a given period of time, many options for implementation of logistics operations can be traced, obtaining results designed for the needs of the logistic systems.

BIBLIOGRAFIA

1. Borowiak J.*: Metoda wyznaczania liczby środków transportu w stanach zagrożenia na przykładzie pojazdów straży pożarnej* - rozprawa doktorska, Politechnika Radomska, Radom 2006.

Autorzy:
dr inż. Jacek BOROWIAK – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu
dr inż. Alicja WĄSOWICZ – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu
mgr inż. Ireneusz JĘDRA – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu