

## Hoofdstuk 8: Variability and its impact on process performance: waiting time problems

Bronnen van variabiliteit:

Variabiliteit van orders of klanten: aankomsten zijn bijna nooit helemaal regelmatig.

Variabiliteit in proces tijden: een persoon zal nooit 100 keer een stap op dezelfde manier uitvoeren. Klanten die bediend worden brengen bijna altijd variatie met zich mee, omdat elke klant verschillend is. Bewerkingstijden variëren door de ordermix en door onzekerheid.

Random beschikbaarheid van resources: bijvoorbeeld machine uitval, ziekte.

Random routing als er verschillende flow units zijn in het proces: units die allemaal langs andere resources gaan.

Variatie in wachtrij modellen worden weer gegeven voor de coefficient of variation (CV). We beschouwen de  $CV_a$  en  $CV_p$  (dus 2 bronnen van variatie).

De a slaat op de inter-arrival times (tussenaankomsttijden), de (variabele) tijd tussen twee klant- of orderaankomsten.

De p slaat op de processing times (bedienings/bewerkingstijd), de (variabele) tijd die nodig is om de klant of order te verwerken:

Coefficient of variation =  $\frac{\text{Standard deviation}}{\text{Mean}}$

Er zijn altijd wachtrijen, ook als de utilization minder is dan 100%.

Wachtrijtheorie en notatie:

*Stationary arrival process (generiek):* klanten arriveren met een bepaald tijdsinterval.

*Poisson arrival process (exponentieel):* klanten arriveren met een exponentieel tijdsinterval.

Bij een normale verdeling bepaal je het gemiddelde en de standaard deviatie.

Bij een exponentiële verdeling is gemiddelde = standaard deviatie = CV = 1

*G/G/M systeem:* Dit is het soort wachtrij en gaat over de aankomsten en processing times.

De eerste letter zijn tussen aankomsttijden. G staat voor generiek (stationary). M voor exponentieel (poisson).

De tweede letter staat voor de 'bedieningsuren'.

De derde letter staat voor aantal bedieners. 1 betekent één bediener, m betekent meerdere bedieners.

G/G/1: generieke aankomsten, 1 bediener.

Utilization =  $\frac{\text{Flow rate} = 1/a}{\text{Capacity} = 1/p} = p/a < 100\%$       p = processing time  
a = interarrival time

Flow time  $T = T_q + p$

flow time T: tijd in het systeem

$T_q$  = wachttijd in rij

$I = I_q + I_p$

I = overall inventory

$I_q$  = inventory in queue

$I_p$  = inventory in process

Time in queue  $T_q = \text{processing time} \times \left( \frac{\text{utilization}}{1 - \text{utilization}} \right) \times \left( \frac{CV_a^2 + CV_p^2}{2} \right)$

Resulting inventory:

$$I = R \times T = \frac{1}{a} \times (T_q + p)$$

$$I = R \times T = \frac{1}{a} \times (T_q + p)$$

R = demand rate

$\frac{1}{a}$  = flow rate

G/G/m: generieke aankomsten, meerdere bedieners.

$$\text{Utilization} = \frac{\text{Flow rate}}{\text{Capacity}} = \frac{1 / \text{interarrival time}}{(\text{number of resources} / \text{processing time})} = \frac{1}{a} = \frac{p}{m}$$

a = interarrival time

m = number of resources

p = processing time

$$T_q = \left( \frac{\text{Processing time}}{m} \right) \times \left( \frac{\text{utilization}^{\sqrt{2(m+1)}-1}}{1 - \text{utilization}} \right) \times \left( \frac{CV_a^2 + CV_p^2}{2} \right)$$

M/M/1: exponentiele aankomsten, 1 bediener.

$$T_q = p \times \left( \frac{u}{1-u} \right)$$

CV = 1

### Stappenplan om wachttijden te berekenen:

Bepaal welk systeem

Verzamel de volgende data: aantal resources (m), processing time (p), interarrival time (a), coefficient of variation voor interval ( $CV_a$ ) en voor processing time ( $CV_p$ ).

Bereken utilization Bereken utilization  $u = \frac{p}{m \times a}$

Bereken  $T_q$

Gebaseerd op  $T_q$  kunnen de volgende performance berekeningen gemaakt worden:

Flow time  $T = T_q + p$

Inventory in service  $I_p = m \times u$

Inventory in queue  $I_q = T_q / a$

Inventory in the system  $I = I_p + I_q$

*Pooling* betekent dat je m wachtrijen met m afzonderlijke bedieners combineert tot één. Dus ook m keer zoveel aankomsten. Ook in dat geval daalt toch de gemiddelde wachttijd met ongeveer een factor  $> m$ :

$$T_q = \left( \frac{\text{Processing time}}{m} \right) \times \left( \frac{\text{utilization}^{\sqrt{2(m+1)}-1}}{1 - \text{utilization}} \right) \times \left( \frac{CV_a^2 + CV_p^2}{2} \right)$$

Pooling is handig om de wachttijd voor klanten te verlagen zonder extra werknemers aan te hoeven schaffen of het aantal werknemers verminderen en toch hetzelfde aantal klanten te blijven verwerken.

Beperkingen van pooling:

Minder effect als klant zelf ook al kortste wachtrij herkent en hiervoor kiest.

Je hebt bedieners nodig die meer soorten bedieningen kunnen doen.

Klant wil over het algemeen graag een vast aanspreekpunt.

Er kunnen setups ontstaan bij switchen tussen klanttypen.

Variatie in bedieningsduren kan toenemen als bedieningen met lange en korte duren gecombineerd worden.

In wachtrijen wordt er vaak geprioriteerd. Dit gebeurt door een kleine stap aan het begin van het proces wanneer klanten arriveren: *de triage step*. Hier wordt informatie verzameld over bepaalde karakteristieken van de arriverende klant. Dit kan op twee manieren:

*Processing time dependent priority rules*: hierbij wordt gekeken naar de klant met de kortste procestijd en deze krijgt prioriteit. Denk aan de spoedeisende hulp.

*Processing time independent priority rules*: hier wordt vaak de first come, first served regel gebruikt.

Wachttijden verkorten of perceptie van wachttijden verkorten door:

- Zorg voor spiegels, lectuur, entertainment, invulformulieren
- Splits het proces: snelle eerste stap, volgende rij uit het zicht
- Laat merken dat de klant is gesignaleerd
- Leg oorzaak wachttijd uit, maak bijvoorbeeld prijsvoordeel duidelijk
- First come first service, splits trage en snelle diensten, alleen werkend in beeld
- Breng de (eventuele overschatte) wachttijd in beeld
- Voldoende ruimte om te wachten, koffie serveren
- Zorg dat medewerkers in beeld zijn
- Kies een geschikte wachtrijconfiguratie