

Stochastische doorlooptijdanalyse van bedrijfsprocessen

Erik Wierstra, Henk Jonkers, Lex Wedemeijer* en Harmen van den Berg

Samenvatting

De doorlooptijd van een bedrijfsproces is van groot belang als indicator voor het service-niveau van het proces. Vaak zijn we geïnteresseerd in vragen die informatie over de gehele verdelingsfunctie van de doorlooptijd vereisen in plaats van alleen een gemiddelde doorlooptijd of maximale doorlooptijd. Hierbij kan gedacht worden aan "hoeveel dagen duurt het voordat 95% van de orders uitgevoerd is?", of "wat is de kans dat de verwerking van een order langer duurt dan 10 dagen?", of "als we de orderverwerking in week 24 starten, in welke week ligt dan de werkpiek voor de uitlevering?"

In dit artikel bespreken we een analysemethode die, voor een klasse van procesmodellen die we serie-parallelle modellen noemen, de stochastische doorlooptijd bepaalt. Het resultaat van deze methode is de verdelingsfunctie van de doorlooptijd van het integrale proces. Daarnaast is de methode geschikt om te bepalen welke factoren een belangrijke invloed hebben op deze doorlooptijd. Zo kan snel en eenvoudig achterhaald worden welke relatief kleine maatregelen getroffen kunnen worden om de doorlooptijd drastisch te verkorten.

De methode is gebaseerd op reductieregels die het procesmodel stapsgewijs reduceren tot een enkele actie; de reductieregels zijn zodanig dat de kwantitatieve eigenschappen behouden blijven.

Een toepassing op een gedragsmodel van een fictief proces geeft een duidelijke illustratie van de mogelijkheden van deze analysemethode. In de praktijk is deze methode tevens toegepast op een model van een proces bij het ABP. Op basis van de analyse zijn suggesties gedaan om de doorlooptijd van dat proces te bekorten.

Telematica Instituut
Postbus 589
7500 AN ENSCHEDE
Telefoon: 053 - 485 0 485
E-mail: {E.Wierstra, H. Jonkers, H.vandenBerg} @telin.nl
<http://www.telin.nl>

* ABP Pensioenen
Afdeling Informatie Management
Postbus 4800
6401 JL HEERLEN
Telefoon: 045 - 579 2 524
E-mail: L.Wedemeijer@abp.nl

1. Inleiding

Het verbeteren of zelfs volledig herontwerpen van bedrijfsprocessen staat volop in de belangstelling. Om de "kwaliteit" van een bestaand of verbeterd bedrijfsproces te beoordelen zijn naast functionele aspecten, zoals service, kwaliteit en productaanbod, ook kwantitatieve aspecten, zoals tijds- en kostenaspecten, van belang [Jonkers en Franken, 1996]. De doorlooptijd vormt een belangrijke kwantitatieve indicator voor de efficiëntie van een bedrijfsproces. Traditioneel worden vaak planningstechnieken zoals kritieke-padanalyse gebruikt om de doorlooptijd te schatten. Echter, deze technieken resulteren alleen in de gemiddelde of maximale tijdsduur. Vaak zijn we geïnteresseerd in het beantwoorden van vragen die meer informatie over de verdelingsfunctie van de tijdsduur vereisen; bijvoorbeeld, "wat is de kans dat een order in vier dagen afgehandeld is?", of "hoe lang duurt het tot 90% van alle opdrachten uitgevoerd is?". Een alternatieve benadering is kwantitatieve simulatie. Deze methode heeft echter als nadeel dat een groot aantal runs nodig is om statistisch betrouwbare resultaten te verkrijgen, hetgeen resulteert in lange simulatietijden. Daarom stellen wij een analysetechniek voor die geschikt is voor een bepaalde klasse van bedrijfsprocesmodellen waarmee de gehele verdelingsfunctie van de doorlooptijd afgeleid wordt, gegeven de stochastische tijdsduren van de afzonderlijke acties.

In paragraaf 2 introduceren we de concepten waaruit we bedrijfsprocesmodellen opbouwen. Tevens definiëren we de klasse van modellen die we met onze methode kunnen analyseren. Paragraaf 3 beschrijft de analysemethode: we geven de reductieregels die gebruikt worden om het procesmodel stapsgewijs te reduceren tot een enkele actie, waarbij de kwantitatieve eigenschappen behouden blijven; het resultaat hiervan is een verdelingsfunctie van de doorlooptijd van het gehele proces. Vervolgens wordt in paragraaf 4 de analysemethode geïllustreerd aan de hand van een proces bij een fictieve autoverzekeraar. Paragraaf 5 tenslotte gaat in op de conclusies en de verdere mogelijkheden.

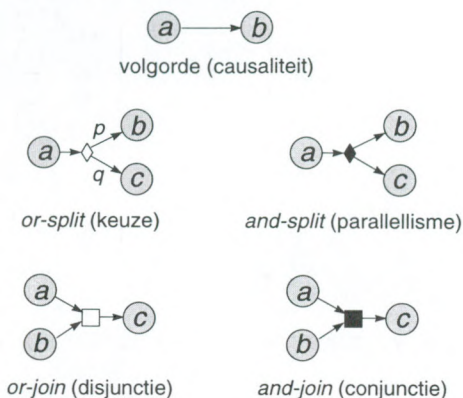
2. Concepten en terminologie

We modelleren bedrijfsprocessen met behulp van een grafische taal die de *activiteiten* in een proces weergeeft en de (volgorde)*relaties* hiertussen [Franken & de Weger, 1997]. We zijn voor onze toepassing alleen geïnteresseerd in het *proces*, dat wil zeggen de activiteiten die worden uitgevoerd en de relaties hiertussen. Onze concepten zijn vergelijkbaar met het soort concepten dat vaak wordt toegepast voor het weergeven van bedrijfsprocessen, bijvoorbeeld ten behoeve van workflow-managementsystemen.

Het basiselement van een gedragsmodel is de *actie*, weergegeven als een cirkel, die een eenheid van activiteit uitdrukt. Voor de in dit artikel toegepaste analyse moet voor elke actie a een functie F_a zijn gespecificeerd die de kansverdeling aangeeft van de tijdsduur van de actie. Acties kunnen onafhankelijk van elkaar zijn, waarbij ze in principe parallel kunnen worden uitgevoerd. Het is echter ook mogelijk dat er bepaalde volgorde-relaties tussen acties bestaan. Figuur 1: geeft een overzicht van de belangrijkste relaties:

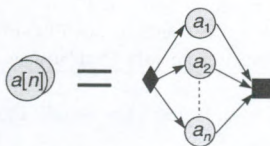
- Het eenvoudigste geval is een enkele volgorde- of causaliteitsrelatie, waarbij een bepaalde actie pas kan beginnen als een andere (voorgaande) actie is beëindigd.

- We kennen twee soorten *splits*: een *or-split*, waarbij een keuze wordt gemaakt tussen een aantal opvolgende acties, en een *and-split*, waarbij na een actie meerdere andere acties onafhankelijk van elkaar (parallel) kunnen plaatsvinden. Om kwantitatieve analyse mogelijk te maken moet in het geval van een keuze bij elke tak een kans worden aangegeven. Als alleen functionele aspecten van belang zijn, mogen de kansen worden weggelaten.
- Tenslotte kennen we twee soorten *joins*: een *or-join* waarbij minstens één van de voorafgaande acties moet zijn beëindigd voordat een actie kan beginnen, en een *and-join*, waarbij alle voorafgaande acties moeten zijn beëindigd.



Figuur 1: Overzicht van relaties tussen acties

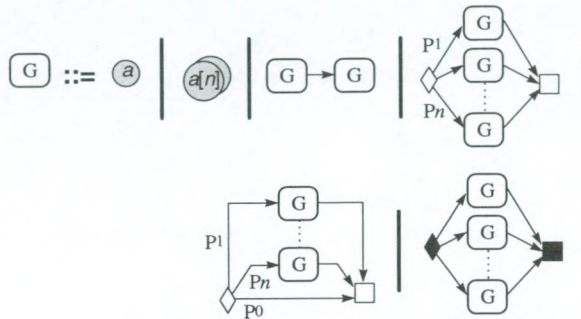
Vaak worden een *or-split* en een *or-join* in combinatie gebruikt, evenals een *and-split* en een *and-join*. Dit is echter niet noodzakelijk. Voor een aantal identieke acties *a*, met dezelfde kansverdeling F_a voor hun tijdsduur, die onafhankelijk van elkaar zijn, en dezelfde voorgangers en opvolgers hebben, definiëren we een kortschrift, zoals weergegeven in Figuur 2. We spreken dan over een gerepliceerde actie.



Figuur 2. Kortschrift voor gerepliceerde actie

Voor de analyse in dit artikel wordt een speciale klasse van gedragsmodellen beschouwd die we *serie-parallele modellen* (SP-modellen) noemen (Valdes *et al.* 1982). Een SP-model bestaat uit een combinatie van seriële en parallelle secties van acties. Deze klasse kan worden beschouwd als een uitbreiding van serie-parallel taakgrafen, zoals bijvoorbeeld beschreven in [Hartleb en Mertsiotakis, 1992]. In taakgrafen kunnen alleen *conjunctieve* parallelle secties worden gebruikt, te vergelijken met een combinatie van een *and-split* en een *and-join*. In onze SP-modellen staan we daarnaast *disjunctieve* parallelle secties toe, bestaande uit een combinatie van een *or-split* en een *or-join*.

Figuur 3 geeft een recursieve definitie van de klasse van SP-modellen. De verticale strepen in het figuur scheiden de alternatieven die mogelijk zijn voor een willekeurig SP-model G . Zo'n model bestaat in zijn eenvoudigste vorm uit één enkelvoudige of gerepliceerde actie. Daarnaast kan een SP-model worden opgebouwd door seriële en (disjunctieve of conjunctieve) parallelle constructies te maken die zijn opgebouwd uit kleinere elementen G die zelf ook weer SP-modellen zijn. Merk op dat in een disjunctieve parallelle sectie ook een lege tak, die geen acties bevat, is toegestaan.



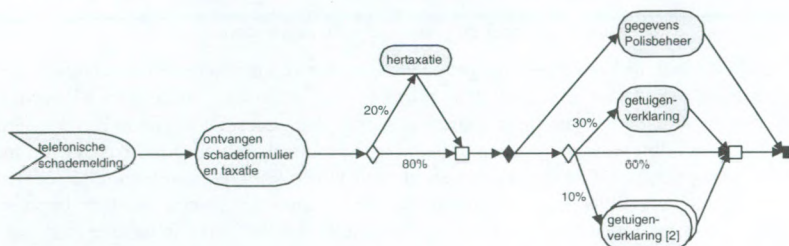
Figuur 3. Definitie van de klasse van SP-modellen

Het voorbeeld

Om onze analysemethode te illustreren gebruiken we in dit artikel een voorbeeld rond het fictieve autoverzekeringsbedrijf PRO-FIT.

PRO-FIT is een bedrijf gericht op financiële dienstverlening en heeft o.a. een afdeling Autoschade die zich bezighoudt met het verzekeren van autoschades. Nu zijn er klachten van klanten binnengekomen dat zij de afhandeling van een schadeclaim te lang vinden duren. Deze afhandeling begint met het deelproces 'Indienen Claim' waarin enkele administratieve en controlezaken uitgevoerd worden. De directeur van PRO-FIT denkt dat dit deelproces de bottleneck vormt en wil dit deelproces op doorlooptijd laten analyseren.

Het deelproces 'Indienen Claim' staat hieronder in een SP-model weergegeven.



Figuur 4: SP-model van het proces 'Indienen Claim'

Het proces 'Indienen Claim' loopt 'van klant tot klant' en ziet er als volgt uit: een klant krijgt een autoschade en heeft thuis een schadeformulier met instructies hoe te handelen. De autoschade moet direct telefonisch bij PRO-FIT gemeld worden. De telefonische melding van de autoschade is de start van het proces (*telefonische schademelding*). Vervolgens moet het schadeformulier ingevuld worden en de autoschade getaxeerd worden bij een garage; de garage moet het taxatierapport naar de klant sturen. Als de klant het taxatierapport ontvangen heeft, moet hij het schadeformulier en taxatierapport gezamenlijk opsturen naar PRO-FIT (*ontvangen schadeformulier + taxatie*).

Steekproefsgewijs wordt door een medewerker van PRO-FIT persoonlijk de autoschade gehertaxeerd; dit gebeurt in 20% van de autoschades (*hertaxatie*). In de overige 80% accepteert PRO-FIT de gegevens zoals ze door de klant en garage zijn aangeleverd. Vervolgens worden bij de eigen afdeling Polisbeheer gegevens opgevraagd wat betreft het autoschadeverleden en het betalingsgedrag van deze klant (*gegevens PB*). Tevens heeft PRO-FIT voor een adequate beoordeling regelmatig verklaringen nodig van getuigen van het ontstaan van de autoschade. In 10% van de gevallen zijn twee getuigenverklaringen nodig, in 30% van de gevallen één getuigenverklaring en in 60% van de gevallen is helemaal geen verklaring nodig. Op het moment dat al deze informatie bij PRO-FIT bekend is, is het proces 'Indienen Claim' ten einde; dan pas kan worden begonnen met de daadwerkelijke afhandeling, inclusief beoordeling en uitbetaling.

In paragraaf 4 gaan we verder met dit voorbeeld.

3. Reductieregels

De meeste bedrijfsprocessen kunnen beschreven worden als serie-parallel-model. Door reductieregels toe te passen op een SP-model wordt dat procesmodel stapsgewijs gereduceerd tot één enkele actie, waarbij de kwantitatieve eigenschappen van het proces behouden blijven. In dit artikel beschrijven we de doorlooptijdberekening van SP-modellen. Deze doorlooptijd heeft een stochastische verdeling en is afhankelijk van de stochastische tijdsduren van de acties in het proces. Om de verdelingsfunctie van het gehele proces, gerepresenteerd door het SP-model, te bepalen moeten alle acties dus voorzien zijn van een verdelingsfunctie van de tijdsduur.

De specifieke vorm van de verdelingsfuncties speelt hierbij geen rol. In de vorige paragraaf hebben we laten zien uit welke typen secties van acties een SP-model mag bestaan. De reductieregels zorgen ervoor dat de seriële secties, parallelle secties en keuzesecties van acties vervangen worden door een enkele, equivalente actie met een nieuwe stochastische tijdsduur. We laten zien dat door het herhaaldelijk toepassen van deze reductieregels de kansverdelingsfunctie van de tijdsduur van het gehele proces berekend kan worden.

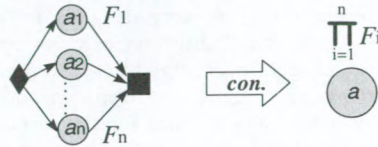
Per type sectie van acties, zoals in Figuur 3 weergegeven, worden de benodigde reductieregels beschreven. Hierbij wordt gebruik gemaakt van basisregels rond verdelingsfuncties, zoals o.a. beschreven in [Mood *et al.*, 1974]. We beperken ons in dit artikel tot discrete tijdsverdelingsfuncties; de resultaten zijn echter eenvoudig te generaliseren naar continue verdelingsfuncties.

3.1 Reductieregel CON: reductie van conjunctieve parallelle acties

Een n -tal onafhankelijke parallelle acties a_i met verdelingsfunctie $F_{a(i)}(t)$, die alle uitgevoerd moeten worden, kan gereduceerd worden tot één actie a met een stochastische tijdsduur weergegeven door de verdelingsfunctie $\prod_i F_{a(i)}(t)$.

$$F_{a_1, a_2, \dots, a_n}(t) \equiv P(a_1 \leq t; a_2 \leq t; \dots a_n \leq t) = P(a_1 \leq t) \cdot P(a_2 \leq t) \dots P(a_n \leq t) = \prod_{i=1}^n F_{a_i}(t)$$

De eerste gelijkheid geldt onder de aanname dat de acties onderling onafhankelijk zijn.



Figuur 5: Reductie van conjunctieve parallelle sectie

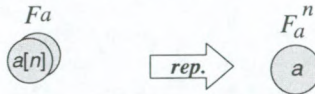
3.2 Reductieregel REP: reductie van gerepliceerde actie

In veel situaties kunnen acties met dezelfde verdelingsfunctie tegelijkertijd en onafhankelijk van elkaar plaatsvinden, waarbij informatie benodigd is over de verdelingsfunctie van de tijdsduur waarin alle acties uitgevoerd zijn.

Bij een gerepliceerde actie $a[n]$ met identieke verdelingsfuncties $F(a_i) = F(a)$, $\forall i = 1, \dots, n$ geldt dan de reductie tot:

$$F_{a_1, a_2, \dots, a_n}(t) = \prod_{i=1}^n F_{a_i}(t) = [F_a(t)]^n$$

Deze situatie vormt een speciaal geval van de conjunctieve parallelle sectie, waarbij de n verdelingsfuncties in Figuur 5 identiek zijn (zie Figuur 6).



Figuur 6: Reductie van gerepliceerde acties

3.3 Reductieregel SER: reductie van seriële acties

Bij seriereductie van twee achtereenvolgende acties a en b , waarbij b direct start na afloop van actie a , geldt:

$$\begin{aligned}
F_{ab}(t) &= P(a+b \leq t) = \\
&P((a \leq 0 \wedge b = t) \vee (a \leq 1 \wedge b = t-1) \vee \dots \vee (a \leq t \wedge b = 0)) = \\
&P(a \leq 0) \cdot P(b = t) + P(a \leq 1) \cdot P(b = t-1) + \dots + P(a \leq t) \cdot P(b = 0) = \\
&F_a(0) \cdot f_b(t) + F_a(1) \cdot f_b(t-1) + \dots + F_a(t) \cdot f_b(0)
\end{aligned}$$

De resulterende verdelingsfunctie is de *convolutie* van $F_a(t)$ en $F_b(t)$. Deze (commutatieve en associatieve) operator is gedefinieerd als [Srivastava en Buschman, 1992]:

$$F_{ab}(t) = F_a(t) * F_b(t) \equiv \sum_{j=0}^t F_a(j) \cdot f_b(t-j)$$

waarbij $f(t) = F(t) - F(t-1)$ voor $t > 0$, $f(0) = 0$

Een seriële sectie kan dus gereduceerd worden tot een equivalente actie met bijbehorende verdelingsfunctie $F_{ab}(t)$.



Figuur 7: Reductie van seriële sectie

3.4 Reductieregel DIS: reductie van disjunctieve parallele sectie

Een disjunctieve sectie is opgebouwd uit n acties waarvan er precies één uitgevoerd wordt. Voor een willekeurige procesafhandeling is de kans gelijk aan p_i dat die bepaalde tak ingegaan wordt, waarbij dus geldt:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1$$

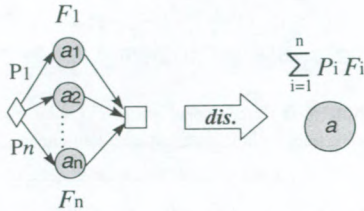
De gezamenlijke verdelingsfunctie is dan gelijk aan:

$$\begin{aligned}
F_{a_1, a_2, \dots, a_n}(t) &= \\
&P((a_1 \text{ gebeurt} \wedge a_1 \leq t) \vee (a_2 \text{ gebeurt} \wedge a_2 \leq t) \dots \vee (a_n \text{ gebeurt} \wedge a_n \leq t)) = \\
&p_1 \cdot P(a_1 \leq t) + p_2 \cdot P(a_2 \leq t) + \dots + p_n \cdot P(a_n \leq t) = \\
&\sum_{i=1}^n p_i \cdot F(a_i)
\end{aligned}$$

De tweede gelijkheid geldt omdat de kruisproducten alle gelijk aan nul zijn vanwege het feit dat in een disjunctieve parallele sectie nooit actie a_j én actie a_k voor één procesafhandeling uitgevoerd worden; dat wil zeggen:

$$P(a_j \text{ gebeurt} \wedge a_k \text{ gebeurt} \wedge a_j \leq t \wedge a_k \leq t) = 0, \forall j \neq k$$

Een disjunctieve parallelle sectie kan dus gereduceerd worden tot een enkele actie met verdelingsfunctie $\sum_i p_i F_i(a_i)$.



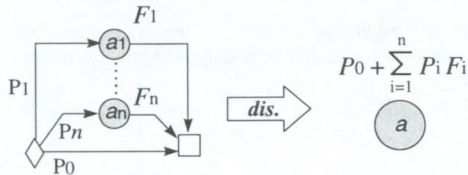
Figuur 8: Reductie van disjunctieve parallelle sectie zonder lege tak

Een variatie op de vorige situatie is als er een lege tak wordt toegestaan, die met kans p_0 ingegaan wordt. Nu gaat de procesafhandeling ofwel de lege tak in ofwel één van de takken waaraan een actie verbonden is. Er geldt hier dus:

$$\sum_{i=0}^n p_i = 1$$

De vorige situatie, zoals in Figuur 8 weergegeven, kan worden beschouwd als speciaal geval van de huidige situatie met $p_0 = 0$; omgekeerd kan de huidige situatie worden beschouwd als speciaal geval zoals in Figuur 8 weergegeven, waarbij één actie tijdsduur 0 heeft, d.w.z. $F(0) = 1$.

De verdelingsfunctie van de gereduceerde actie volgt direct uit de formule in de vorige situatie en is gelijk aan $p_0 + \sum_{i=1}^n p_i F_i(a_i)$. Grafisch is dit in Figuur 9 weergegeven.



Figuur 9: Reductie van disjunctieve parallelle sectie met lege tak

3.5 Samengevat

Als een procesmodel opgebouwd is uit de bovengenoemde secties van acties en de verdelingsfuncties van de tijdsduren van de afzonderlijke acties bekend zijn, dan kan door het toepassen van bovenstaande reductieregels de stochastische tijdsduur van het gehele proces bepaald worden.

In de volgende paragraaf passen we de reductieregels toe om de stochastische doorlooptijd van het eerder beschreven proces te bepalen. Bovendien is de invloed van de parameters van verdelingsfuncties van de afzonderlijke acties te bepalen op de totale doorlooptijd; hierdoor wordt duidelijkheid verkregen over welke parameters veranderd moeten worden om de doorlooptijd te verkorten.

4. Toepassing

In deze paragraaf illustreren we onze analysemethode aan de hand van het eerder beschreven proces bij het autoverzekeringsbedrijf PRO-FIT. We beginnen met een beschrijving van kwantitatieve gegevens over dit proces, waarna de doorlooptijd geanalyseerd wordt. Tenslotte worden de resultaten gepresenteerd en wordt aangetoond welke effecten bepaalde maatregelen op de doorlooptijd hebben.

4.1 Kwantitatieve gegevens over het proces

PRO-FIT heeft al enige tijd gegevens verzameld m.b.t. de tijdsduren van de verschillende acties in dit proces; op basis van deze gegevens zijn de verdelingsfuncties van de tijdsduur van de onderscheiden acties geschat. Gegeven deze verdelingsfuncties en de reductieregels, zoals in paragraaf 3 beschreven, is de stochastische doorlooptijd van het proces 'Indienen Claim' te bepalen. Deze stochastische doorlooptijd geeft de tijdsduur weer vanaf het begin van het proces om alle informatie te verzamelen voordat PRO-FIT over kan gaan tot de daadwerkelijke beoordeling van de claim.

Figuur 4 liet het proces 'Indienen Claim' zien voor één schademelding. Met elke actie is een kansverdeling voor tijdsduur geassocieerd. Het betreft discrete kansverdelingen met een dag als tijdseenheid. Het proces per maand bestaat uit ca. 1000 parallele instanties van dit proces.

Door de combinatie van wel/geen hertaxatie uitvoeren en het aantal getuigenverklaringen, ontstaan zes situaties. In de onderstaande tabel zijn het aantal schademeldingen per maand in de 6 situaties weergegeven.

	<i>Wel hertaxatie</i>	<i>Geen hertaxatie</i>
Geen getuigenverklaring	120	480
Eén getuigenverklaring	60	240
Twee getuigenverklaringen	20	80

Tabel 1: aantal schademeldingen in de 6 mogelijke situaties bij 1000 parallele instanties

De centrale vraag is nu hoe lang het duurt voordat alle informatie bij PRO-FIT beschikbaar is om de daadwerkelijke beoordeling van de claim uit te kunnen voeren.

In de rest van deze paragraaf geven we de verdelingsfuncties van de tijdsduren van de onderscheiden acties (zoals in Figuur 4 weergegeven). De in de praktijk veelvoorkomende wachttijd wordt meegemodelleerd door gebruik te maken van *verschoven* kansverdelingsfuncties. De toepassing van de reductieregels op dit SP-model volgt in de volgende paragraaf.

De metingen bij PRO-FIT hebben aangetoond dat voor het terugontvangen van de formulieren bij benadering geldt dat de tijdsduur een verschoven geometrische kansverdeling volgt. De eerste w_0 dagen komt nog geen enkel formulier terug. Vervolgens wordt verondersteld dat op de eerste dag daarna een fractie q van de formulieren binnenkomt. De dag daarna komt een fractie q van het restant binnen, etc. De verdelingsfunctie $F_{ontvangen}(t)$ is dan gelijk aan:

$F_{ontvangen}(t) =$	0	voor $t \leq w_0$
	$1 - (1-q)^{t-w_0}$	voor $t > w_0$

Voor de tijdsduur van het bekijken van de schade door een schade-expert kan een uniforme verdeling verondersteld worden. De eerste w_1 dagen gebeurt er niets, de dagen daarna komen de resultaten van de schade-expert in $(w_2 - w_1)$ dagen gelijkmatig binnen. De verdelingsfunctie $F_{hertaxatie}(t)$ is dan gelijk aan:

$F_{hertaxatie}(t) =$	0	voor $t \leq w_1$
	$(t - w_1)/(w_2 - w_1)$	voor $w_1 < t < w_2$
	1	voor $t \geq w_2$

Voor het opvragen van een getuigenverklaring geldt een minimale wachttijd van w_3 dagen, waarna de gegevens bij benadering binnenkomen volgens een Weibull-verdeling met parameters a en b . De verdelingsfunctie $F_{getuige}(t)$ is dan gelijk aan:

$F_{getuige}(t) =$	0	voor $t \leq w_3$
	$1 - \exp(-((t-w_3)/b)^a)$	voor $t > w_3$

Hierbij is aangenomen dat de stochastische tijdsduur van de actie 'opvragen getuigenverklaring' voor elke getuige hetzelfde is.

Ook voor het terugontvangen van de gegevens van de interne afdeling Polisbeheer kan een verschoven geometrische kansverdeling aangenomen worden. De eerste w_4 dagen komen nog geen gegevens terug. De eerste dag daarna komt een fractie p van de formulieren binnen. De dag daarna komt een fractie p van het restant binnen, etc. De verdelingsfunctie $F_{gegevens PB}(t)$ is dan gelijk aan:

$F_{gegevens PB}(t) =$	0	voor $t \leq w_4$
	$1 - (1-p)^{t-w_4}$	voor $t > w_4$

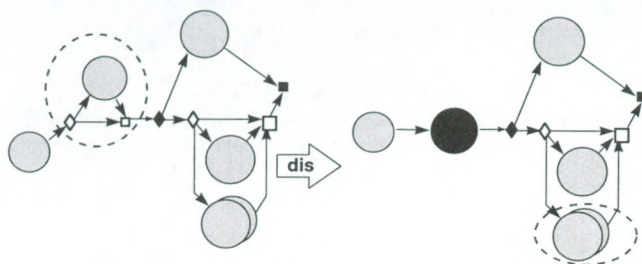
Merk op dat bovenstaande verdelingsfuncties van de tijdsduren van de acties, afgezien van *hertaxatie*, impliceren dat de benodigde informatie soms pas na vele maanden of zelfs jaren beschikbaar komt. Hoewel dit niet veel gebeurt, komt dat in de praktijk inderdaad voor zodat het proces een (te) lange doorlooptijd krijgt.

Nu de verdelingsfuncties van de afzonderlijke acties duidelijk zijn, kunnen de reductieregels toegepast worden om de stochastische tijdsduur van het gehele proces te bepalen.

4.2 Doorlooptijdanalyse door middel van reductie

Door stapsgewijze reductie leiden we nu de verdelingsfunctie van de tijdsduur van het gehele proces af. Dit wordt ondersteund met enkele figuren, waarin we de sectie die gereduceerd wordt met een stippellijn omcirkelen en het resultaat met een donkere kleur aangeven. De

basis staat links in onderstaande figuur (simpelweg het gedragsmodel uit Figuur 4 maar dan zonder tekst).



Figuur 10: input en output van de reductie; stap 1

Stap 1: reductieregel DIS

Als eerste wordt een disjunctieve parallelle sectie gereduceerd tot één actie. Deze resulterende actie heeft de verdelingsfunctie:

$$F_1(t) = 0,8 + 0,2 \cdot F_{\text{hertaxatie}}(t)$$

De resulterende actie is in Figuur 10 met een donkere kleur aangegeven. Vervolgens worden de gerepliceerde acties *opvragen getuigenverklaring* gereduceerd tot één actie.

Stap 2: reductieregel REP

Het opvragen van twee getuigenverklaringen heeft een stochastische tijdsduur weergegeven door:

$$F_2(t) = \left[F_{\text{getuige}}(t) \right]^2$$

Hierbij is de aanname gemaakt dat de tijdsduur van de actie van de verschillende getuigen voor één procesafhandeling onafhankelijk zijn. Het resultaat van deze twee stappen staat in figuur 11 links bovenaan weergegeven.

Vervolgens wordt weer de reductieregel DIS toegepast om de stochastische tijdsduur van de omcirkelde keuzesectie in Figuur 11 te reduceren tot de verdelingsfunctie van een enkele actie.

Stap 3: reductieregel DIS

De gezamenlijke verdelingsfunctie van het wel-of-niet opvragen van getuigenverklaringen wordt weergegeven door:

$$F_3(t) = 0,6 + 0,3 \cdot F_{\text{getuige}}(t) + 0,1 \cdot F_2(t)$$

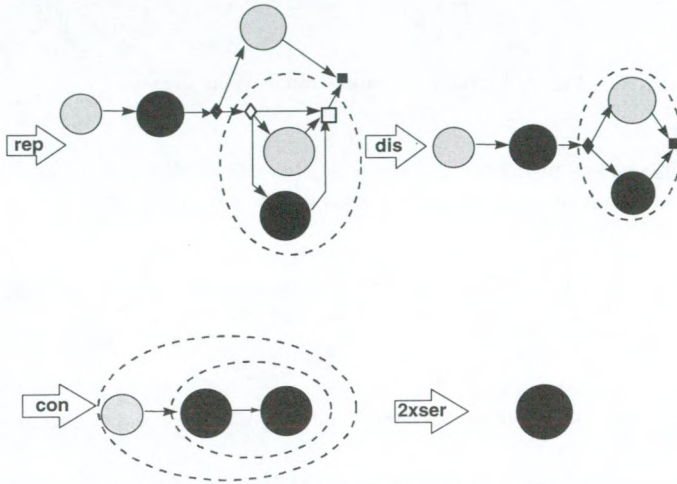
Vervolgens wordt de reductieregel CON toegepast.

Stap 4: Reductieregel CON

De gecombineerde kansverdelingsfunctie van *opvragen gegevens PB* en m instanties van *opvragen getuigeverklaring* parallel (met $0 \leq m \leq 2$) noemen we $F_4(t)$. Deze is gelijk aan het product van de verdelingsfunctie $F_{gegevens PB}(t)$ en $F_3(t)$.

$$F_4(t) = F_{gegevens PB}(t) \cdot F_3(t)$$

Voor de definitie van $F_4(t)$ is aangenomen dat de actie van de afdeling PolisBeheer onafhankelijk is van de acties van de getuigen. Het resultaat van deze stap staat in Figuur 11 links onderaan.



Figuur 11: input en output van de reductie; stap 2 - 5

Tenslotte wordt tweemaal de reductieregel SER toegepast. Vanwege de associatieve eigenschap van de convolutie is de volgorde waarin de drie acties linksonder in Figuur 11 worden gereduceerd, niet van belang.

Stap 5a: Reductieregel SER

De eerste seriële reductie betreft de convolutie van $F_4(t)$ en $F_1(t)$. Deze gecombineerde verdelingsfunctie noemen we $F_5(t)$.

$$F_5(t) = F_1(t) * F_4(t) \equiv \sum_{j=0}^t F_4(j) \cdot f_1(t-j)$$

$$\text{waarbij } f_1(t) = F_1(t) - F_1(t-1) \text{ voor } t > 0, f_1(0) = 0$$

Dit geldt onder de aanname dat $F_1(t)$ en $F_4(t)$ onafhankelijk zijn.

Stap 5b: Reductieregel SER

De laatste stap die uitgevoerd moet worden is weer een seriële reductie. De verdelingsfunctie van de totale doorlooptijd, die we $H(t)$ noemen, wordt gegeven door de convolutie van $F_{\text{ontvangen}}(t)$ en $F_5(t)$.

$$H(t) = F_{\text{ontvangen}}(t) * F_5(t) \equiv \sum_{j=0}^t F_{\text{ontvangen}}(j) \cdot f_5(t-j)$$

waarbij $f_5(t) = F_5(t) - F_5(t-1)$ voor $t > 0$, $f_5(0) = 0$

Merk op dat bij stap 5b de commutatieve eigenschap van convolutie gebruikt wordt.

4.3 Resultaten

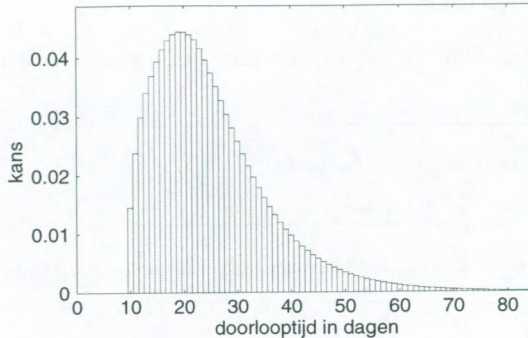
Tabel 2 vat de parameters van de kansverdelingen samen die gevarieerd kunnen worden, en de waarden die volgens PRO-FIT het meest gepast zijn.

parameter	betekenis van de parameter	waarde
w_0	Aantal dagen dat nog geen formulieren terugkomen na het versturen.	6
q	Fractie van de nog te verwachten formulieren dat per dag binnenkomt, vanaf w_0+1 dagen na het versturen.	0,1
w_1	Aantal dagen dat er nog geen hertaxaties compleet zijn na aanvraag.	5
w_2	Aantal dagen dat hertaxatie altijd compleet is na aanvraag.	12
w_3	Aantal dagen dat er nog geen getuigeverklaring binnen is.	2
a, b	Parameters van de Weibull-verdeling voor het binnenkomen van een getuigeverklaring.	2, 8
w_4	Aantal dagen dat er nog geen gegevens van PolisBeheer binnen zijn.	2
p	Fractie van de nog te verwachten gegevens van PolisBeheer dat per dag binnenkomt, vanaf w_4+1 dagen na de aanvraag.	0,3

Tabel 2. Samenvatting parameters

Bij deze instelling van parameters is de kansverdeling van binnenkomst van alle benodigde informatie *voordat* de ingediende claim beoordeeld kan worden in figuur 12 weergegeven. Tijdstip 1 is de eerste dag na het versturen van de formulieren aan de klanten. Gegeven de instellingen van de parameters duurt het 10 dagen vanaf de start van het proces voordat van de eerste klanten alle informatie binnen is. Vervolgens duurt het nog circa 13 dagen voordat van de helft van de klanten alle gegevens er zijn, en in totaal circa 39 dagen voordat de informatie van 90% van de klanten bij PRO-FIT binnen is.

Omdat de directeur van PRO-FIT van mening is dat deze doorlooptijd veel te lang is, geeft hij nadere opdracht om de mogelijkheden tot verkorting van de doorlooptijd te analyseren.

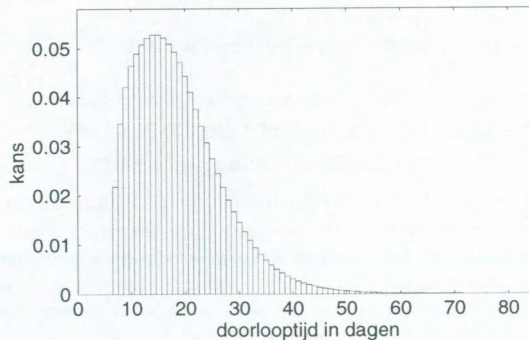


Figuur 12: Kansdichtheidfunctie in huidige situatie

Door te 'spelen' met de parameters zijn de effecten van deze parameters op de totale doorlooptijd te bepalen. Op deze wijze zijn zogenaamde 'quick wins' te bepalen: welke relatief kleine maatregelen kunnen genomen worden om de doorlooptijd te bekorten zonder over te gaan tot herontwerp van het proces.

- Quick win I: *afspraken maken met garages*

PRO-FIT kan afspraken maken met enkele garages: de klanten moeten hun auto daar laten taxeren en repareren; in ruil daarvoor zorgen die garages er voor dat de auto binnen twee dagen na aanleveren getaxeerd is; bovendien stuurt de garage het taxatierapport per fax direct naar PRO-FIT in plaats van eerst naar de klant. Dit betekent bijvoorbeeld dat w_0 daalt van 6 naar 3 en p stijgt van 0,10 naar 0,15. Het resultaat op de totale doorlooptijd is te zien in Figuur 13. De mediaan daalt van 23 naar 17 en het 90^e percentiel daalt 9 dagen naar 30.

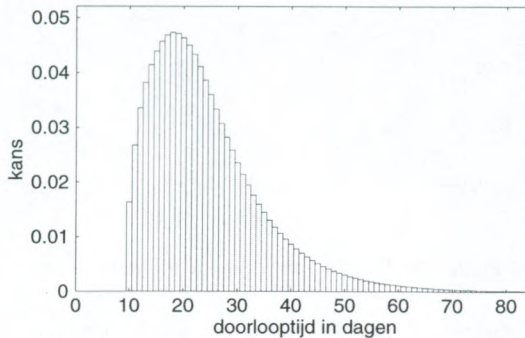


Figuur 13: Kansdichtheidfunctie na afspraken met garages

- Quick win II: *minder taxatie*

Het blijkt bij PRO-FIT dat bij de hertaxaties maar in een zeer beperkt aantal gevallen ongeregelde hertaxaties door de taxateur van PRO-FIT worden vastgesteld. Weliswaar betekent dit dat in die gevallen meestal te veel uitbetaald wordt, maar door minder hertaxeren maakt PRO-FIT minder kosten en wordt de totale doorlooptijd, naar verwachting, bekort. PRO-

FIT besluit om nog maar in 10% van de schademeldingen een hertaxatie uit te voeren; dus de kans dat die bewuste tak ingegaan wordt, daalt van 0,2 naar 0,1. Het resultaat van deze maatregel is in Figuur 14 grafisch weergegeven. De verschillen t.o.v. de huidige situatie zijn echter marginaal. Zowel de mediaan als het 90e en 95e percentiel dalen slechts 1 dag. PRO-FIT moet de afweging maken of deze verkorting van de doorlooptijd opweegt tegen de mogelijke kosten.



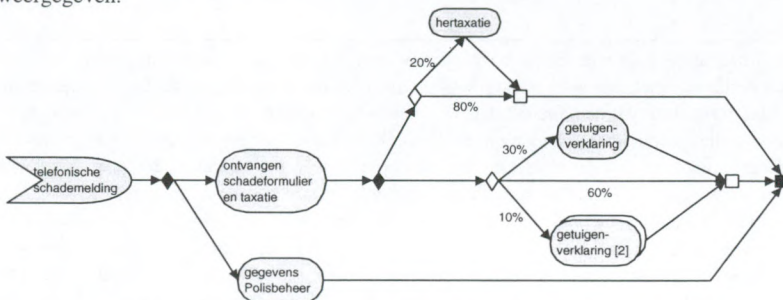
Figuur 14: Kansdichtheidsfunctie bij minder taxatie

- Quick win IIa: *NOG minder taxatie*

PRO-FIT zou ook kunnen besluiten tot het geheel achterwege laten van het hertaxeren. Ten opzichte van de huidige situatie neemt zowel de mediaan als het 90e-percentiel af met 2 dagen en het 95e-percentiel daalt 3 dagen.

- Quick win III: *eerder acties 'gegevens PB' en 'getuigenverklaring' opstarten.*

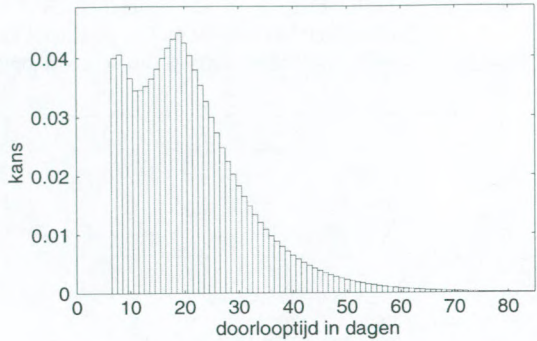
De actie 'opvragen gegevens PolisBeheer' kan direct starten nadat de telefonische schademelding is binnengekomen en loopt dan parallel aan 'ontvangen meldingsformulier'; het vervroegen van de actie 'getuigenverklaring' gebeurt dan parallel aan 'hertaxatie'. Dit betekent dat een nieuw SP-model gemaakt moet worden, zoals in Figuur 15 is weergegeven.



Figuur 15: SP-model van het herontwerp

Hoewel met dit herontwerp verbeteringen in de doorlooptijd bereikt worden, zijn ze niet spectaculair. De eerste informatie komt nog steeds pas na 7 dagen binnen, de mediaan is gelijk

aan 19 (-4) dagen en na 35 (-4) dagen is de informatie van 90% van de klanten bij PRO-FIT ontvangen (zie ook Figuur 16).



Figuur 16: Kansdichtheidsfunctie bij herontwerp

In de onderstaande tabel zijn de gevolgen voor de doorlooptijd bij de verschillende quick wins weergegeven.

	Percentielen van de doorlooptijd			
	1%	50% (mediaan)	90%	95%
<i>Huidige situatie</i>	10	23	39	46
<i>Afspraken met garages</i>	7	17	30	34
<i>Minder taxatie (10%)</i>	10	22	38	45
<i>Nog minder taxatie (0%)</i>	10	21	37	43
<i>Eerder acties opstarten</i>	7	19	35	42

Tabel 3: Gevolgen voor de doorlooptijd (in dagen)

De directeur besluit op basis van bovenstaande gegevens dat het afspraken maken met garages de voorkeur geniet; hij vindt echter dat tegelijkertijd de quick win ‘eerder acties opstarten’ doorgevoerd kan worden omdat dat voor PRO-FIT weinig inspanning vergt. Deze twee maatregelen gecombineerd leiden ertoe dat alle informatie over een schadeafhandeling op z’n vroegst binnen is na 4 dagen, dat de mediaan op 14 dagen ligt en dat na 26 (resp. 30) dagen voor 90% (resp. 95%) van de schademeldingen alle informatie aanwezig is bij PRO-FIT. De directeur schat in dat door deze drastische verkorting van de doorlooptijd de klanten weer tevreden zullen zijn. Daarnaast kan de afdelingschef op basis van de telefonische schademeldingen en de modus van de doorlooptijd voorspellen wanneer pieken in de werklust zullen optreden. De chef kan deze pieken middels extra personeelsinzet opvangen, zodat de doorlooptijd acceptabel blijft.

5. Tot slot

In dit artikel hebben we een analysemethode besproken om de stochastische doorlooptijd te berekenen van een klasse van bedrijfsprocessen, gebaseerd op serie-parallele reductie. Deze methode is in september 1997 toegepast op een proces bij het ABP. Op basis van de verkregen resultaten zijn aanbevelingen gedaan om de doorlooptijd te bekorten.

Vanwege de vertrouwelijkheid van de ABP-gegevens hebben we deze methode geïllustreerd aan de hand van een fictief voorbeeld. De analysemethode toont zijn kracht doordat we eenvoudig de gehele verdelingsfunctie van de doorlooptijd kunnen bepalen, zodat vragen kunnen worden beantwoord waarvoor de meer gebruikelijke kritieke-padanalyses niet geschikt zijn. Tevens wordt duidelijk welke parameters de grootste invloed hebben op de verdelingsfunctie van de doorlooptijd.

De hier besproken analysemethode is een nuttige toevoeging voor procesanalysetools, omdat huidige tools zich beperken tot simulatie [Janssen *et al.* 1997]. Deze analysemethode is snel en eenvoudig te gebruiken om procesvarianten door te rekenen.

Naast de getoonde mogelijkheden zijn er uiteraard enige beperkingen. Ten eerste moet het bedrijfsproces gemodelleerd kunnen worden als serie-parallelmodel. Onze ervaring is echter dat dit voor de meeste bedrijfsprocessen het geval is. Ten tweede moeten de verdelingsfuncties van de acties en de kansen bij vertakkingen onafhankelijk van elkaar zijn; als dit niet het geval is wordt de analyse een stuk complexer.

De gepresenteerde analysemethode biedt een goed hulpmiddel bij het verbeteren of herontwerpen van bedrijfsprocessen, doordat het inzicht geeft in de maatregelen die de doorlooptijd bekorten.

Dankwoord

We bedanken Wil Janssen, Anneke Verschut en een referee voor hun suggesties ter verbetering van dit artikel.

Dit artikel is mede gebaseerd op bevindingen uit het Testbed-project. De doelstelling van het Testbed-project (<http://www.telin.nl/testbed/>) is het maken van een virtuele *testomgeving* voor bedrijfsprocessen. In het project worden kennis, methoden en (software) tools ontwikkeld voor het (her)ontwerpen van bedrijfsprocessen, met name in de financiële sector. Het Testbed consortium bestaat uit het ABP, de Belastingdienst, de ING Groep, IBM en het Telematica Instituut en er wordt samengewerkt met verschillende Nederlandse universiteiten en onderzoeksinstituten. Het project wordt financieel ondersteund door het Ministerie van Economische Zaken.

Referenties

Franken, H.M. en M.K. de Weger, "A modelling framework for capturing business process dynamics, knowledge and proces management" *Journal of Corporate Transformation*, Vol. 4, No. 3, 1997, pp. 153-162.

Hartleb, F. en V. Mertsiotakis, "Bounds for the mean runtime of parallel programs", in R. Pooley en J. Hillston (red.), *Proceedings of Computer Performance Evaluation '92: Modelling Techniques and Tools*, Edinburgh, sept. 1992.

Janssen, W., H. Jonkers en J.P.C. Verhoosel, "What makes business processes special? An evaluation framework for modelling languages and tools in Business Process Redesign." In K. Siau, Y. Wand en J. Parsons (red.), *Proceedings 2nd CAiSE/IFIP 8.1 international workshop on evaluation of modeling methods in systems analysis and design*, Barcelona, juni 1997.

Jonkers, H. en H.M. Franken, "Quantitative modelling and analysis of business processes", in A. Bruzzone and E. Kerckhoffs, eds., *Simulation in Industry: Proc. 8th European Simulation Symposium*, vol. I, Genoa, Italy, okt. 1996, pp. 175-179.

Mood, A.M., F.A. Graybill en D.C. Boes, *Introduction to the Theory of Statistics*, McGraw-Hill, 1974 (derde editie).

Srivastava, H.M. en R.G. Buschman, *Theory and applications of convolution integral equations*, vol.79 uit serie 'Mathematics and its applications', Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1992.

Valdes, J., R.E. Tarjan en E.L. Lawler, "The recognition of series parallel digraphs", *SIAM Journal of Computing* (11) 2, pp.298-313, 1982.

Ontvangen: 02-04-1998

Geaccepteerd: 07-09-1998