

VERGELIJKING VAN REKENNAUWKEURIGHEID BIJ VERSCHILLENDE
STATISTISCHE PROGRAMMA PAKKETTEN¹⁾Gerrit J. Stemerding²⁾

SAMENVATTING

Reeds bij zeer eenvoudige berekeningen als gemiddelde, standaarddeviatie en enkelvoudige lineaire regressie blijkt dat niet alle programma pakketten even nauwkeurige uitkomsten produceren. Met medewerking van een aantal leden van de 'pakkettenclub' van de CSP is een groot aantal pakketten (o.a. SPSS, BMDP, SAS etc) vergeleken. Ook zijn dezelfde pakketten op meerdere machines (o.a. IBM 370/158 en CDC-Cyber) vergeleken. Geconcludeerd mag worden dat vrijwel alle pakketten met enige oplettendheid gebruikt dienen te worden en dat inspectie van de data een dwingende noodzaak is.

INLEIDING

In 'The Statistician' van maart 1980 verscheen onder de titel 'Statistical Computing for Business and Industry' een artikel van Greenfield en Siday.

Zij gaan in dit artikel in op de toenemende beschikbaarheid van microcomputers en al dan niet programmeerbare calculators. Hun aandacht richt zich vooral op de eisen die aan dergelijke apparatuur moeten worden gesteld. Onder andere geven zij een lijst van berekeningen die beschikbaar zouden moeten zijn.

Een van hun aanbevelingen is om data visueel (bv. via histogrammen) te inspecteren, de meeste micro's zijn hiervoor uitstekend geschikt.

Zij komen tot deze aanbeveling omdat hen was gebleken dat veel data-reeksen vrij onverwachte resultaten kunnen leveren. De voorbeelden die zij gaven zijn vervolgens op een groot aantal plaatsen in Nederland met verschillende machines en pakketten berekend. Dit artikel geeft daarvan een verslag.

- 1) Bewerking van een lezing gehouden op de Statistische dag, 22 april 1981, TH Twente
- 2) Stichting Nijmeegs Instituut voor Onderwijsresearch (NIVOR), Oranjesingel 41, 6511 NN Nijmegen

REKENNAUWKEURIGHEID, EERDER EN VAKER NODIG DAN MEN DENKT

F. van Nes (1980) gaat in een eerder artikel in dit tijdschrift uitgebreid in op de theoretische achtergronden van problemen bij de berekening van gemiddelde en standaarddeviatie.

Ook elders bestaat veel aandacht voor dit onderwerp, van tijd tot tijd vindt men er in diverse tijdschriften enkele achtereenvolgende artikelen aan gewijd.

Helaas is soms duidelijk dat een auteur eigen gedachten ontwikkelt en zich weinig baseert op wat al gepubliceerd is (Jaspen, 1981).

Met enkele, wel zéér simpele voorbeelden wil ik hier aantonen dat men in de praktijk al snel geconfronteerd kan worden met de gevolgen van onvoldoende reken nauwkeurigheid.

Voorbeeld 1: Van de getallen 1, 2 en 3 wil ik de standaard-deviatie weten.

Deze is $\left[\frac{(1-2)^2 + (2-2)^2 + (3-2)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} = 1$.

Met een rekenmachine als de Texas Instruments TI59 kan men dit snel uitvoeren.

Toets maar in: 1 2nd Σ + 2 2nd Σ + 3 2nd Σ + INV 2nd \bar{X} en het cijfer 1.0 verschijnt.

Nu pas ik een optelling toe, een lineaire transformatie waaronder de standaard-deviatie zoals bekend invariant is.

Ik neem de getallen 2000001, 2000002, 2000003 en toets in: 2000001 2nd Σ +..... INV 2nd \bar{X} met als resultaat 0.0 !

De gebruikte calculator heeft nog meer mogelijkheden, men kan er ook de variantie op basis N mee berekenen, in plaats van de s.d. op basis N-1.

Vervang INV 2nd \bar{X} door 2nd Op 11 en men krijgt als resultaat - 1.0 !

Voorbeeld 2: is evenals de data van voorbeeld 1 ontleend aan Greenfield en Siday en illustreert zeer duidelijk de gevolgen van afronden in een verkeerd stadium van een berekening.

Gegeven een groep van 16 mannelijke studenten in de medicijnen die hun heamaglobinegehalte hebben bepaald. De cijfers zijn (in g/100 ml)

12.4 14.5 14.7 12.7 12.5 14.7 13.8 16.0
13.6 13.8 13.5 14.9 12.8 13.8 13.6 13.5

Er wordt hun verteld, dat het populatie-gemiddelde voor gezonde volwassen mannen 14.8 g/100 ml is en de vraag is nu of zij als groep daarvan afwijken.

Men berekent keurig $\Sigma X = 220.8$ en $\Sigma X^2 = 3061.32$. Dit levert $\bar{X} = 13.8$, $\sigma_x = 0.976$ en $SE(\text{Mean}) = 0.244$. Via $t_{0.01} = 2.95$ berekent men een 99% betrouwbaarheidsinterval van 13.08 - 14.52 met als conclusie dat de groep afwijkt van het populatie-gemiddelde.

Een van de toekomstige artsen echter rondt wat af om gemakkelijker te kunnen rekenen en redeneert $\Sigma X = 220$ en $\Sigma X^2 = 3061$.

Nu verkrijgt men het interval 12.61 - 14.89 wat wel het populatiegemiddelde bevat. Een meer correcte afronding van ΣX tot 221 zou tenslotte het interval 13.26 - 14.37 opgeleverd hebben.

Het te verwachten en terechte commentaar op deze voorbeelden zal liggen in de geest van: 'deze data komen in de praktijk niet voor' en 'maar zo iets doe je niet, dat zie je toch zo'.

Inderdaad, ervaren, achterdochtige gebruikers zal zo iets niet snel overkomen, maar hoe is de praktijk?

Hoe worden de gegevens van zo'n 150 verschillende metingen bij 1000 personen op medisch of sociaal-wetenschappelijk terrein verwerkt? Bent U ervan overtuigd dat daar overal histogrammen van gemaakt worden, correlatie-matrices gecontroleerd etc., alvorens een of andere prachtige, gebruikersvriendelijke analyse-machine zich erover ontfermt.

Een waar gebeurd voorbeeld dat ik nog wel eens gebruik is dat van een onderzoeker die 80 merendeels nominale variabelen tegen elkaar gekruistabelleerd vroeg. Na mijn uitleg dat dit 3160 tabellen, dus ruim een hele doos papier zou zijn, kwam hij met het idee tegelijk een correlatie-matrix te vragen. Hij hoefde dan zijn schaarse tijd slechts aan die tabellen te wijden die hij middels een hoge correlatie had geselecteerd. Helaas had hij er geen idee van dat de hoogte van de produkt-momentcorrelatie in het algemeen weinig verband houdt met enige vorm van samenhang in een kruistabel van nominale variabelen.

Dit is beslist geen uitzonderlijk voorval, dit soort naïviteit t.o.v. data en superpakketten bestaat vrij algemeen.

DE TE BEHANDELEN DATA

Greenfield en Siday hebben drie soorten data-sets geconstrueerd: uni-, bi- en trivariate.

Op de univariate data worden berekend: gemiddelde, variantie en/of standaard-deviatie, derde en vierde moment, skewness en kurtosis.

Op de bivariate data worden berekend: productmoment correlatie, de regressie-coëfficiënten volgens het model $\hat{y} = a + b x$ alsmede de SS voor regressie en residu en de daarbij behorende F - ratio.

Op de trivariate data worden berekend: de regressie-coëfficiënten volgens het model $\hat{y} = a + b x_1 + c x_2$ en het kwadraat van de multiple correlatie $R^2_{y \cdot x_1 x_2}$.

Aan deze data wordt het stiffness aspect onderscheiden.

Stiffness geeft het aantal 'niet-significante' cijfers in een getal aan.

De reeks 5,6,7,8,9 heeft stiffness 0, het voorbeeld met 2000001 etc.

heeft stiffness 6. Jaartallen als 1971, 1972, 1973, 1974 hebben stiffness 3.

Bij de trivariate data wordt ook het aspect van colineariteit onderscheiden. Dit is de mate waarin de beide voorspellers samenhangen. Een hoge correlatie geeft een moeilijk te inverteren matrix.

De univariate data bestaan uit telkens 5 getallen en worden voor stiffness n aangeduid met DATA n.

Zij bestaan uit: $7 + 10^{-n}$, $7 + 2 \times 10^{-n}$, $7 + 3 \times 10^{-n}$, $7 + 4 \times 10^{-n}$ en $7 + 5 \times 10^{-n}$

De exacte uitkomsten zijn:

gemiddelde	$7 + 3 \times 10^{-n}$
variantie	2×10^{-2n} ¹⁾
standaarddeviatie	$\sqrt{2} \times 10^{-n}$ ¹⁾
3 ^e moment	0
4 ^e moment	6.8×10^{-4n}
skewness	0
kurtosis	1.7

- 1) Deze waarden zijn in de tabellen opgenomen als de exacte uitkomst. Veel statistische pakketten echter berekenen de variantie en de standaarddeviatie op basis van N-1 in plaats van N. De exacte uitkomsten zijn in dat geval 2.5×10^{-2n} en $\sqrt{2.5} \times 10^{-n}$.

De bivariate data worden op een soortgelijke manier geconstrueerd en aangeduid met DATA nm, waarbij n en m de stiffness aangeven van de y- en de x-variabele.

Ook de trivariate data ontstaan op een dergelijke wijze. Zij worden met DATA nm.r aangeduid waarbij n en m de stiffness van de x_1 - en x_2 -variabele aangeven en r hun correlatie.

Enkele voorbeelden van de data zijn:

DATA 0

8	9	10	11	12
---	---	----	----	----

DATA 3

7.001	7.002	7.003	7.004	7.005
-------	-------	-------	-------	-------

DATA 03

8	9	10	11	12
8.001	8.003	8.002	8.004	8.005

DATA 11.92

-1.5	-1.0	-0.5	0	0.5	1.5	1.0
7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7
8.092	8.184	8.276	8.592	8.460	8.552	8.644

DE GEBRUIKTE PAKKETTEN EN MACHINES

Greenfield en Siday presenteren de uitkomsten van:

TI-58 programmeerbare calculator¹⁾

Olivetti P6060 tafelcomputer met een door henzelf ontwikkeld pakket

ICL 19065 computer met SPSS/5.0

1) Alle uitkomsten zijn op het NIVOR nagerekend op een TI-59. Dit is precies dezelfde calculator als de TI-58, behalve het feit dat de geheugenruimte verdubbeld is en de TI-59 over een magneetkaartjes-lezer beschikt. In de tabellen is overal TI-59 vermeld.

Ik heb dit uitgebreid met:

SPSS/8.1]	
BMD(1973)&BMDP(1976)		IBM 370/158 URC-KU Nijmegen
SAS 79.4B		
SCSS		IBM 4341 URC-KU Nijmegen
BMDP(1978)]	
SPSS/8.0		CDC-Cyber 175-100 ACCU-RU Utrecht
VSPC/AS		IBM 3033 IBM-Zoetermeer
STATPACK		DEC-10 RC-TH Twente
WESP		CDC-Cyber 74-18 RC-RU Groningen
BMDP(1979)		HP3000 CITO-Arnhem

Dit was mogelijk door de medewerking van

B. Bloemberg	URC-KUN
W. Bosch	IBM-Zoetermeer
A. de Jong	CDA-RUU
W. Maessen	NIVOR-KUN
D. v.d. Sluis	RC-RUG
N. Veldhuizen	CITO-Arnhem

DE RESULTATEN

De resultaten van de diverse berekeningen zijn in de volgende tabellen gegeven.

Ik zal er geen commentaar bij geven, de uitkomsten spreken voor zichzelf.

DATA 0	8	9	10	11	12		
	GEMIDDELDE	VARIANTIE	STAND. DEV.	3 ^e MOMENT	4 ^e MOMENT	SKEWNESS	KURTOSIS
EXACT	10	2	1.4142136	0	6.8	0	1.7
TI 59	10.	2.	1.4142136	0.	6.8	0.	1.7
OLIVETTI	10	2	1.4142136	0	6.8	-	-
SPSS 5.0 ICL	10	2.5	1.581	-	-	0	-1.300
SPSS 8.0 CDC	10.000	2.500	1.581	-	-	.000	-1.200
SPSS 8.1 IBM	10.000	2.500	1.581	-	-	.000	-1.200
SCSS IBM	10.000	-	1.581	-	-	.000	-1.200
BMDP IBM	10.0000000	2.4999990	1.5811386	-	-	0.0	-1.6400003
BMDP CDC	10.0000000	2.5000000	1.5811388	-	-	0.00	-1.91
BMDP HP	10.0000000	2.5000000	1.5811388	-	-	.00	-1.91
SAS IBM	10.00000000	2.50000000	1.58113883	-	-	0.00000000	-1.20000000
VSPC-AS IBM	10.000	-	1.581	-	-	-	-
WESP CDC	10.000	-	1.581	-	-	0.000	1.700
STATPACK DEC	10.000000	2.500000	1.581139	-	-	0.0000000 E+00	-

DATA 3	7.001	7.002	7.003	7.004	7.005		
	GEMIDDELDE	VARIANTIE	STAND. DEV.	3 ^e MOMENT	4 ^e MOMENT	SKEWNESS	KURTOSIS
EXACT	7.003	2×10^{-6}	1.4142136×10^{-3}	0	6.8×10^{-12}	0	1.7
TI 59	7.003	0.000002	0.0014142136	0	0.000000022	0.	5500.
OLIVETTI	7.003	2×10^{-6}	0.001414	0	-4.0×10^{-4}	-	-
SPSS 5.0 ICL	7.003	0.000	0.000	-	-	-0.000	-1.300
SPSS 8.0 CDC	7.003	.000	.002	-	-	.000	-1.200
SPSS 8.1 IBM	7.003	.000	.002	-	-	-0.000	-1.200
SCSS IBM	7.003	-	.002	-	-	.000	-1.268
BMDP IBM	7.0030003	0.0000025	0.0015810	-	-	0.0070575	-1.6399860
BMDP CDC	7.0030000	0.0000025	0.0015811	-	-	0.00	-1.91
BMDP HP	7.0030003	.0000025	.0015810	-	-	-.00	-1.91
SAS IBM	7.00300000	0.00000250	0.00158114	-	-	0.00000000	-1.20000012
VSPC-AS IBM	7.003	-	1.581 E-03	-	-	-	-
WESP CDC	7.003	-	0.002	-	-	-0.001	0.000
STATPACK DEC	7.003000	0.3051758 E-05	0.1746928 E-02	-	-	0.6322669 E-04	-

DATA 03						MODEL : $\hat{Y} = A + BX$	
	8	9	10	11	12		
	8.001	8.003	8.002	8.004	8.005		
	A	B	R_{xy}	SS_{reg}	SS_{res}	F	
EXACT	-7192.7	900.0	0.9	8.1	1.9	12.78947	
TI 59	-7192.7	900.	0.9	-	-	-	
OLIVETTI	-7192.7	900.0	0.9	-	-	-	
SPSS 5.0 ICL	-7190.97	899.78	0.899898	8.09807	1.90193	12.77341	
SPSS 8.0 CDC	-7192.7021	900.00027	.90000	8.10000	1.90000	12.78950	
SPSS 8.1 IBM	-7193.603	900.1129	0.90005	8.10086	1.89914	12.79661	
SCSS IBM	-7193.60156	900.112279	.90005	8.101	1.899	12.79661	
BMDP IBM	PROGRAMMA WERKTE NIET MET EEN VOORSPELLER						
BMDP CDC	WEGENS INVOERFOUT NIET BESCHIKBAAR						
BMDP HP	-7196.04785	900.41811	.9000	8.100	1.900	12.791	
SAS IBM	-7192.69993631	899.99999204	0.810000 ⁺)	8.09999993	1.90000007	12.79	
VSPC-AS IBM	-7192.70000	900.00000	0.900	8.100	1.900	12.78947	
WESP CDC	-7192.6992	899.9999	.9000	-	-	12.7895	
STATPACK DEC	-23598.850	2950.000	1.62966	26.5579	-16.5579	-4.812	

+) R_{xy}^2 ipv R_{xy}

DATA 33						MODEL : $\hat{Y} = A + .BX$	
	7.001	7.002	7.003	7.004	7.005		
	8.001	8.003	8.002	8.004	8.005		
	A	B	R_{xy}	SS_{reg}	SS_{res}	F	
EXACT	-0.1997	0.9	0.9	8.1×10^{-6}	1.9×10^{-6}	12.78947	
TI 59	-0.1997	0.9	0.9	-	-	-	
OLIVETTI	-0.1997	0.9	0.9	-	-	-	
SPSS 5.0 ICL	-0.19821	0.89981	0.89990	0.00001	0.00000	12.77417	
SPSS 8.0 CDC	-.19970200	.9000025	.90000	0.00001	0.00000	12.78949	
SPSS 8.1 IBM	-0.2004632	0.9000954	0.90010	0.00001	0.00000	12.80375	
SCSS IBM	-.20046	.90010	.90010	.000	.000	12.80375	
BMDP IBM	PROGRAMMA WERKTE NIET MET EEN VOORSPELLER						
BMDP CDC	-.19970	.90000	.90000	0.000	0.000	12.789	
BMDP HP	WEGENS INVOERFOUT NIET BESCHIKBAAR						
SAS IBM	-0.19970001	0.90000000	.810000 ⁺)	0.00000810	0.00000190	12.79	
VSPC-AS IBM	-0.19970	0.90000	0.900	8.100 E-06	1.900 E-06	12.78947	
WESP CDC	-.1997	.9000	.9000	-	-	12.7895	
STATPACK DEC	-17.00600	3.000000	1.50000	0.274658 E-04	-0.152588 E-04	-5.400	

+) R_{xy}^2 ipv R_{xy}

DATA 06	8	9	10	11	12	MODEL : $\hat{Y} = A + BX$	
	8.000001	8.000003	8.000002	8.000004	8.000005		
	A	B	R_{xy}	SS_{reg}	SS_{res}	F	
EXACT	-7199992.7	900000	0.9	8.1	1.9	12.78947	
TI 59	MACHINE RAAKT GEDURENDE BEREKENING IN ERROR-CONDITIE						
OLIVETTI	MACHINE ACCEPTEERT DE DATA NIET						
SPSS 5.0 ICL	DATA-OVERFLOW						
SPSS 8.0 CDC	-6597061.8	824633.67	.86149	7.42170	2.57830	8.63559	
SPSS 8.1 IBM	-7549740.	943718.4	0.90000	8.10000	1.90000	12.78947	
SCSS IBM	-7.54974 +06	9.43718 +05	.90000	8.100	1.900	12.78947	
BMDP IBM	PROGRAMMA WERKTE NIET MET EEN VOORSPELLER						
BMDP CDC	-7199992.71818	900000.00227	.9000	8.100	1.900	12.789	
BMDP HP	-3145719.50000	393216.00000	.3354	1.125	8.875	.380	
SAS IBM	-7115933.11791587	889492.55617978	.800543 ^{*)}	8.00543304	1.99456696	12.04	
VSPC-AS IBM	-7199992.69972	899999.99997	0.900	8.100	1.900	12.78947	
WESP CDC	GEEN BEREKENINGEN, PROGRAMMA WAARSCHUWT VOOR SINGULIERE MATRIX						
STATPACK DEC	7.9999992	0.2500000	0.00027	0.745058 E-06	10.0000	.2235 E-06	

*) R_{xy}^2 ipv R_{xy}

DATA 22.99	-1.5	-1.0	-0.5	MODEL : $\hat{Y} = A + BX_1 + CX_2$	
	7.01	7.02	7.03 ETC.		
	8.0099	8.0198	8.0297		
	A	B	C	$R_{y \cdot x_1 x_2}^2$	
EXACT	-339.428571	48.2142857	0	0.9298469	
TI 59	-339.42897	48.21392	0.0003708	0.9298469	
OLIVETTI	-339.428571	48.214857	0	0.9298469	
SPSS 5.0 ICL	-339.43743	48.20527	0.00900	0.92984	
SPSS 8.0 CDC	-339.42857	48.214284	.18897493 E-05	.92985	
SPSS 8.1 IBM	-339.4264	48.21516	0.001035737	0.92985	
SCSS IBM	-339.42627	48.21515	-.00104	.92985	
BMDP IBM	-339.38745	48.21211	-0.00314	0.9299	
BMDP CDC	-339.42857	48.21429	-.00000	.9298	
BMDP HP	-339.43677	48.21911	-.00321	.9299	
SAS IBM	-339.42857140	48.21428573	-1.2889756 E-08	0.929897	
VSPC-AS IBM	-339.42857	48.21429	5.579 E-13	.930	
WESP CDC	-339.4286	48.2143	-0.0000	.9298	
STATPACK DEC	-337.75093	49.91549	-1.698119	.96449 ^{*)}	

*) $R_{y \cdot x_1 x_2}^2$ ipv $R_{y \cdot x_1 x_2}^2$

					-1.5	-1.0	-0.5		
DATA 33.999					7.001	7.002	7.003	ETC.	MODEL : $\hat{Y} = A + BX_1 + CX_2$
					8.000999	8.001998	8.002997		
	A	B	C	$R^2_{y \cdot x_1 x_2}$					
EXACT	-3376.928571	482.1428571	0	0.9298469					
TI 59	-3378.174211	480.9072086	1.2368917	0.9298469					
OLIVETTI	-3376.92857	482.1428	0	0.9298469					
SPSS 5.0 ICL	-3316.1906	543.06975	-60.90305	0.93002					
SPSS 8.0 CDC	-3376.9103	482.16106	-1.18210252 E-01	.92985					
SPSS 8.1 IBM	-3384.129	474.8358	7.293681	0.92982					
SCSS IBM	-3376.64502	482.25732	-1.13568 ⁺)	.92982					
BMDP IBM	-3382.05762	475.20312	6.58890 ⁺)	0.9298					
BMDP CDC	-3376.92857	482.14286	- ⁺)	.9298					
BMDP HP	-3375.83594	481.98694	- ⁺)	.9297					
SAS IBM	-3376.92796961	482.14344827	-0.00059246	0.929847					
VSPC-AS IBM	-3376.92857	482.14286	7.497 E-10	.930					
WESP CDC	-3376.9394	482.1317	.0111	.9298					
STATPACK DEC	-3101.3750	439.3165	3.048780	0.92365 ⁺⁺)					
+) HET PROGRAMMA MOET GEFORCEERD WORDEN OM EEN TWEEDE VOORSPELLER OP TE NEMEN									
++) $R^2_{y \cdot x_1 x_2}$ ipv $R^2_{y \cdot x_1 x_2}$									

Enkele conclusies zijn:

- De TI-59 steekt beslist niet gek af tegen pakketten die qua jaarlijkse huur duurder zijn dan de aanschafprijs van deze machine.
- Het enige pakket dat tot het eind toe overeind blijft is het VSPC/AS systeem van IBM-Zoetermeer. Helaas kan dit alleen middels time-sharing op Zoetermeer gebruikt worden. Hierdoor is het voor het merendeel der lezers van dit blad onbereikbaar, immers zij zitten vast aan de eigen machines van hun werkgever.
- Er kunnen grote verschillen optreden tussen verschillende releases van een pakket en tussen verschillende machine-implementaties. Zo is bv. SPSS/5.0 op ICL beduidend slechter dan SPSS/8.0 op IBM of CDC. Ook bij de drie geteste BMDP-versies is dit verschil evident.
Het feit dat het gemiddelde van drie versies de exacte uitkomst levert is een waarschijnlijk niet bedoelde statistische eigenschap van zo'n pakket.
- Hoewel uit de vergelijking van de drie BMDP-versies een zeer positieve invloed lijkt uit te gaan van de langere woordlengte van de CDC-machine, hoeft langere woordlengte niet als een noodzaak te worden gezien.
Immers VSPC/AS op IBM is de absolute winnaar, hoewel de IBM een duidelijk kortere woordlengte hanteert.
Toepassing van robuuste algoritmes lijkt een betere remedie.
- Vervanging van STATPACK op de DEC10 van TH Twente lijkt zeer gewenst.

AANBEVELINGEN

Aan het slot van dit artikel hebben de uitkomsten geleid tot een aantal aanbevelingen, zowel voor gebruikers als voor ontwerpers van statistische programma-pakketten.

Voor gebruikers

- Inspecteer de data, maak histogrammen, controleer de range, maak plots van twee variabelen tegen elkaar etc.
- Pleeg zonodig transformaties, vaak geeft het aftrekken van een constante al een hele verbetering te zien.
- Gebruik niet het eerste pakket dat je tegenkomt, verdiep je ook in andere pakketten die op het rekencentrum al dan niet actief aanwezig zijn.

- Eis de aandacht van pakketten-beheerders en rekencentra voor deze zaak. Zij letten bij aanschaf vaak op andere criteria, zoals geheugenbeslag, prijs, etc.

Voor pakketten-ontwerpers

- Houdt rekening met de verschillende woordlengtes van machines.
- Kijk in de literatuur (bv. Collected Algorithms of Transactions on Mathematical Software, beide van de ACM) voor goede algoritmes. Het omzetten van een statistische formule in Fortran-statements levert nog geen algoritme.
- Publiceer de gebruikte algoritmes en dan niet, zoals SPSS (Norusis, 1980), onder het mom van algoritmes een verzameling statistische formules.
- Bouw checks in op de data ¹⁾.
- Presenteer de uitkomsten in de output op consistente wijze, niet het ene cijfer met 10 decimalen, een ander in 4 en weer een ander in E-notatie.
- Controleer het hele pakket eens grondig op mogelijke verbeteringen in de rekennauwkeurigheid.

1) A. de Jong (CDA-RU Utrecht) heeft op de SPSS-gebruikersconferentie ISSUE11980 een demonstratie van het IDA-pakket bijgewoond. Toen hij de data van voorbeeld 1 (2000001 etc.) invoerde reageerde het programma met de aanbeveling eerst een constante van de data af te trekken!'

LITERATUUR

- Greenfield, T. and Siday, S. Statistical Computing for Business and Industry. The Statistician 29 (1980) pp. 33-55.
- Jaspen, N. Precision of various formulas for the standard deviation in IBM 360 Fortran. Educational and Psychological Measurement 41 (1981) pp. 227-231.
- van Nes, F. Nauwkeurige berekening van gemiddelde en standaarddeviatie met een (zak)rekenmachine.
Kwantitatieve Methoden 1 (1980) pp. 143-152.
- Norusis, M.J. SPSS Statistical Algorithms Release 8.0.
Chicago (1980) SPSS Inc.