MATHEMATICSCH CENTRUM
2e BOERHAAVESTRAAT 49
AMSTERDAM

REKENAFDELING

Programmering voor de ARMAC

Deel III

(Rd1: Interpretatief programma
voor drijvende komma

Sc1: Subroutine arctangens

Se2: Subroutine 2-macht

S12: Subroutine 2-logarithme)

door

E.W. Dijkstra

MR 27

1 9 5 6

Inhoud

blz.

Voorwoord 1
Handleiding voor Rd1: Interpretatief programma voor
drijvende komma. 2
Handleiding voor Sc1: Subroutine arctangens 12
Handleiding voor Se2: Subroutine 2-macht. 13
Handleiding voor Sl2: Subroutine 2-logarithme . . . 15
Tekst van Rd1 16
Tekst van Sc1 38
Tekst van Se2 41
Tekst van Sl2 43

Voorwoord

Dit rapport bevat in eerste instantie het interpretatieve programma Rd1 "voor drijvende komma"

Omdat dit gebruik maakt van de subroutines Se2 (2-macht) en Sl2 (2-logarithme), zijn ook deze in het rapport opgenomen.

Tevens is plaats ingeruimd voor de subroutine Sc1 (arctangens), voornamelijk, omdat snelle publicatie in verband met de grote vraag wenselijk leek.

Velen hebben aan de groei van het programma Rd1 bijgedragen, door het geven van suggesties, door het uiten van verlangens en tenslotte ..... door het in het gebruik te toetsen. De drie andere routines zijn opgesteld door Mej. M.C. Debets. Door haar een efficiente methode ter bepaling van de coëfficiënten van de benodigde polynoombenaderingen aan de hand te doen, heeft ook de heer J.A. Zonneveld aanwijsbaar meegewerkt bij het ontstaan van deze subroutines. Allen ben ik mijn dank verschuldigd.

Rd1 Interpretatief programma voor drijvende komma

De ARMAC is een machine met vaste komma. In de praktijk leidt dit tot de consequentie dat de programmeur belast wordt met de taak, zijn formules zo te herschrijven, dat de in de berekening voorkomende getallen hetzij gehele getallen, hetzij echte breuken worden, m.a.w. men last schaalfactoren in.

Vele problemen laten zich zonder veel hoofdbrekens "schalen"; zodra echter de orde van grootte van variabelen in de loop van de berekening sterk varieert, stuit men op ernstige problemen. Om deze moeilijkheden eens en vooral op te lossen, is het programma Rd1 ontworpen, dat de programmeur in staat stelt te opereren op getallen, die niet in absolute, maar in relatieve precisie gegeven worden; voor de orde van grootte zijn veel sterkere variaties toegestaan.

Het programma Rd1 is natuurlijk ook bruikbaar bij problemen, die misschien wel te schalen zouden zijn, maar waarbij men zich die moeite wil besparen, b.v. als men weinig tijd voor de opstelling van het programma beschikbaar heeft.

Het programma Rd1 opereert op getallen in de voorstelling

$$x = b.2^m, \quad \text{waar } \tfrac{1}{2} \leq |b| < 1,$$

en levert de antwoorden der arithmetische bewerkingen eveneens weer in deze representatie af, d.w.z. in plaats van een getal x worden steeds de breuk b en de macht m gehanteerd. Omdat m de exponent is van de macht met grondtal = 2, heet Rd1 een z.g. "binair drijvend" programma.

Voor elk getal wordt in het geheugen één woord ter beschikking gesteld. De hoogste p cijfers zijn gereserveerd voor de macht m (inclusief zijn teken), de resterende 34-p cijfers voor de breuk b (exclusief zijn teken: ten gevolge van de ongelijkheid $\frac{1}{2} \leq |b|$ is het tekencijfer altijd het inverse van het eerste cijfer achter de komma en hoeft er in het woord dus geen extra bit voor gereserveerd te worden).

Voor geassembleerde getallen voldoet dus de macht m aan de ongelijkheid

$$|m| < 2^{p-1}, \qquad \text{of}$$

het getal x voldoet aan

$$2^{-2^{p-1}} \leq |x| < 2^{2^{p-1}-1}.$$

Wij zien dus, dat aan de orde van grootte der getallen, die wel sterk varieren mag - sterker, naarmate p groter is - , nochtans wel een beperking is opgelegd. In het bijzonder kan het getal x = 0 (met uiteraard eindige p!) niet worden voorgesteld.

De waarde van p, die via een voorponsing aan Rd1 moet worden meegegeven, mag (per programma!) gekozen worden.

Kiezen wij b.v. p = 7, dan wordt het breukgedeelte in 27 binalen achter de komma gerepresenteerd, d.w.z. in een nauwkeurigheid, iets beter dan 8 decimalen achter de komma ($2^{-27} = +.745 \times 10^{-8}$); de binaire macht m voldoet aan de ongelijkheid $|m| \leq 63$, m.a.w.

$$+.543 \times 10^{-19} < |x| < +.922 \times 10^{19}.$$

Kiezen wij p = 8, dan wordt het breukgedeelte weliswaar in één binaal minder gerepresenteerd (men rekent dan in bijna 8 decimalen) maar het bereik van de variabelen is dan, omdat nu $|m| \leq 127$, aanmerkelijk groter, n.l.

$$+.294 \times 10^{-38} < |x| < +.170 \times 10^{39}$$

Deze restricties gelden alleen voor getallen, die in geassembleerde vorm op één adres van het geheugen worden geborgen.

Behalve deze getallen komt n.l. nòg een getal in drijvende notatie voor, waarvoor echter twee woorden ter beschikking staan. De adressen 2 X 0 en 3 X 0 vormen samen het z.g. "drijvende register " R: de breuk staat in 2 X 0 , de macht in 3 X 0 . De inhoud van het drijvend register R wordt zoals gebruikelijk met (R) aangeduid en is dus aangegeven door

$$(R) = \{2\ X\ 0\} \cdot 2^{[3\ X\ 0]}, \text{ waar } \tfrac{1}{2} \leq |\{2\ X\ 0\}| < 1$$

In 2 X 0 staat de breuk dus "netjes" met zijn eigen teken; de restrictie $|m| < 2^{p-1}$ geldt niet voor [3 X 0] , omdat in de representatie van (R) voor de macht een geheel woord ter beschikking staat.

Het programma Rd1 simuleert een één-adres rekenmachine met het drijvend register R als enig register van het arithmetisch orgaan.

In onderstaande beschrijving van de interpreteerbare code wordt (n) steeds gebruikt, om het als drijvend getal geinterpreteerde woord op adres n aan te duiden.

De opgegeven tijden zijn gemiddelden: als het getal (n) in het snelle kanaal staat, duren de operaties gemiddeld 7 msec korter.

22 0 S 0 =)	"Inloop" d.w.z. begin bij de volgende opdracht te interpreteren.	15 msec.
6/n	Spring naar de a-opdracht van adres n	15 msec.
7/n	Spring naar de b-opdracht van adres n	15 msec.
8/n	$(R) + (n) \Rightarrow (R)$	70 msec.
9/n	$(R) - (n) \Rightarrow (R)$	70 msec.
10/n	$+ (n) \Rightarrow (R)$	27.5 msec.
11/n	$- (n) \Rightarrow (R)$	27.5 msec.
12/n	$+ (R) \Rightarrow (n)$	30 msec.
13/n	$- (R) \Rightarrow (n)$	30 msec.
14/n	Spring naar de a-opdracht van adres n, als $(R) > 0$,anders skip	47 msec.
15/n	Spring naar de b-opdracht van adres n, als $(R) > 0$, anders skip	47 msec.

18/n	$+ (R).(n) \Rightarrow (R)$	66 msec.
19/n	$- (R).(N) \Rightarrow (R)$	66 msec.
20/n	$+ (R):(n) \Rightarrow (R)$	153 msec.
21/n	$- (R):(n) \Rightarrow (R)$	155 msec.
24/n	$(R).2^{n} \Rightarrow (R)$	47 msec.
25/n	$(R).2^{-n} \Rightarrow (R)$	47 msec.
28/n	Typ (n) (en vernietig (R)!)	
29 0 X 0	"Uitloop", d.w.z. begin bij de volgende opdracht normaal te werken	54 msec.
29 1 X 0	$\sqrt{\lvert (R) \rvert} \Rightarrow (R)$	150 msec.
29 2 X 0	$\sin (R) \Rightarrow (R)$	250 msec.
29 3 X 0	$\cos (R) - 1 \Rightarrow (R)$	185 msec.
29 4 X 0	$\exp (R) \Rightarrow (R)$	140 msec.
29 5 X 0	$\ln (R) \Rightarrow (R)$	205 msec.

Inloop en uitloop

Hierboven zijn de interpreteerbare opdrachten gegeven. Om aan te geven, dat deze opdrachten geinterpreteerd moeten worden, geeft men eerst de z.g. "inloop" 22 0 S 0 : dit is nog een normale opdracht, n.l. een subroutinesprong naar Rd1 (Omdat de inloop nog een normale opdracht is, is zijn aanwezigheid in bovenstaande rij niet geheel terecht!) In plaats van dat de besturing normaal bij de volgende opdracht terugkomt, begint Rd1 bij de volgende opdracht te interpreteren. Het einde van het interpreteren wordt door de "uitloop" 29 0 X 0 aangegeven: als deze opdracht geinterpreteerd wordt, springt de besturing normaal - d.w.z. "direct werkend" - terug naar de eerstvolgende opdracht. De op de inloop in het geheugen volgende "opdrachten" zijn dus ook op te vatten als een rij parameters, die de betroffen aanroep van Rd1 nader specificeert. De "uitloop" fungeert als label, die aangeeft, dat de laatste parameter is afgewerkt.

Een en ander heeft tot gevolg, dat te interpreteren variabele opdrachten niet met bufferschrijfopdrachten mogen worden ingevuld!

In- en uitloop laten (R) ongewijzigd.

De sprongen.

De interpretatieve sprongen (f = 6,7,14 en 15) zijn immer "van interpretatief naar interpretatief": zij duiden aan, dat de nog af te werken rij parameters (eventueel) elders in het geheugen moet worden voortgezet. De conditionele sprongen zijn conditioneel op het teken van (R) en niet, zoals we bij de ARMAC - een twee-registermachine! - gewend zijn, op de inhoud van een additioneel conditie - registertje.

In dit verband zij opgemerkt, dat het de overzichtelijkheid van het programma ten goede komt, als men links van de te interpreteren opdrachten b.v. een rode streep trekt. Hiermede vermijdt men abusievelijke sprongen van "normaal" naar "interpretatief" en omgekeerd; tevens is deze indicatie voor de operateur van belang, omdat het onmogelijk is, de machine met behulp van het stopadres te stoppen op een geïnterpreteerde opdracht.

Het typen van drijvende getallen

De interpretatieve opdracht 28/n typt het drijvende getal op adres n. Hiertoe wordt het door Rd1 eerst omgerekend in decimaal drijvende vorm, d.w.z. de breuk T en het gehele getal t, bepaald door

$$(n) = T.10^{t} \quad , \quad \text{met} \quad +.1 \leq |T| < 1$$

worden berekend. Dan wordt T getypt volgens typcode 0, daarna t volgens typcode 1.

Voor de regelindeling worden T en t afzonderlijk geteld: een drijvend getal telt dus voor twee getallen op de regel. Ook aan het begin van t moet een tabulatorstop staan.

Typcode 0 en typcode 1, die het typen van breuk, resp. decimale macht beheersen, moeten door de programmeur opgesteld en ingevoerd worden. Men realisere zich, dat het hier heel goed mogelijk is, dat door afronding T = ± 1 getypt wordt. Men kiest dus als typcode 0 b.v.   T B8 F1 P7 X S

Het programma Rd1 maakt tijdens het typen gebruik van de standaard-typroutines, die op hun beurt 0 X 0 t/m 5 X 0 gebruiken. Ten gevolge hiervan wordt door de interpretatieve opdracht 28/n de inhoud van R bedorven.

De invoer van drijvende getallen

Het interpretatieve programma Rd1 is omgekeerd in staat een in decimaal drijvende vorm gegeven getal in binair drijvende vorm om te rekenen. Om deze omrekening en assemblage van de band te activeren, ponst men de soortspecificatie

RK   (drijvende decimale komma)

Evenals de andere soortspecificaties wijzigt de controlecombinatie RK niets aan wisselstand en plaats van wegbergen. Het invoerprogramma, dat ontvankelijk blijft voor alle controlecombinaties, blijft met hulp van Rd1 decimaal drijvende getallen lezen, totdat de soortspecificatie gewijzigd wordt.

Om het decimaal drijvende getal $x = T.10^t$ te ponsen, ponst men eerst de breuk T, daarna het gehele getal t. Het is hier niet noodzakelijk, dat T aan de ongelijkheid $+.1 \leq |T|$ voldoet. Deze "onderdelen" worden gelezen, zonder door RG vooraf te zijn gegaan! Eventuele extra pentades X worden, zowel voor T, als voor t geskipt.

Het is duidelijk, dat het invoerprogramma de soortspecificatie RK pas mag ontmoeten, nadat het programma Rd1 is ingelezen!

De goniometrische functies: sin (R) en cos (R) - 1

Het in R meegegeven argument wordt geacht, de hoek in radialen te meten. Als [3 X 0]≥36 - p, stopt de machine; de macht van het argument is dan zo groot. dat, vanwege de eindige relatieve precisie van het argument niet meer bekend is, in welk quadrant de hoek eigenlijk ligt. Door de betroffen stopopdrachten door 27 0 X 4 te vervangen, kunnen deze stops onderdrukt worden.

Rd1 berekent niet cos (R), maar cos (R) - 1, om voor het geval van zeer kleine argumenten niet nodeloos cijfers te verliezen.

De exponentiële functie: $e^{(R)}$

De machine stopt, als [3 X 0] < - 33 ; in dit geval ligt (R) zó dicht bij nul, dat het breukgedeelte {2 X 0} er niet meer toe zou doen, omdat het antwoord in de gegeven precisie niet meer van 1 afwijkt.

Als [3 X 0] > + 33 , stopt de machine eveneens; van het breukgedeelte van het antwoord zou geen cijfer meer betrouwbaar zijn.

De eerste van deze twee stops kan onderdrukt worden, door de betroffen stopopdracht door 27 0 X 4 te vervangen; met de tweede stop kan dit niet!

De logarithmische functie: ln (R)

Het in (R) meegegeven argument der natuurlijke logarithme moet positief zijn; is hieraan niet voldaan, dan stopt de machine.

Controle op capaciteitsoverschrijding

Iedere keer, dat een breuk en een macht samen in één woord geassembleerd worden, wordt gecontroleerd, of door de macht m aan de ongelijkheid

$$|m| < 2^{p-1}$$

voldaan is; zo nee, dan stopt de machine.

Gedeeltelijk drijvende programma's

Het is soms onnodig, soms zelfs ongewenst, om een berekening van begin tot eind drijvend uit te voeren. Rd1 bevat twee subroutine-aanroepen, waarmee men niet drijvende getallen, mits $\neq 0$, om kan laten rekenen in geassembleerde drijvende vorm:

22 0 S 12 =) vervang {S} door drijvende notatie; resultaat ⇛ (S)

en

22 2 S 12 =) vervang [S] door drijvende notatie; resultaat ⇛ (S)

Dit zijn dus geen interpreteerbare maar normale opdrachten. Het idee is, dat aan het einde van een "directe" - d.w.z. niet-drijvende - berekening die tussenreslutaten, die voor drijvende verwerking verder op noodzakelijk zijn, met bovenstaande subroutine-aanroepen omgerekend worden, voordat de "inloop" 22 0 S 0 aan de beurt komt.

De band "Rd1"; bezetting in het geheugen

De sluitletter S heeft bij Rd1 een vaste betekenis: de vul indicatie

RFS 1024 X 0

komt op de standaardband voor. Het programma Rd1, dat $12\frac{1}{2}$ kanalen omvat (S 0 t/m S 11 en de eerste helft van S 12), beslaat dus altijd de kanalen 32 + 0 t/m 32 + 11, benevens de eerste helft van kanaal 32 + 12. Tevens staan op de band vulindicaties voor sluitletter R, waarvan de betekenis enkele malen gewijzigd wordt.

Aangezien de sluitletter S ook vóór het inlezen van het programma bepaald moet zijn (in verband met de inloop 22 0 S 0) verdient het aanbeveling Rd1 helemaal aan het begin in te lezen.

De voorponsing, die de programmeur aan de standaardband Rd1 toe moet voegen, specificeert p, het aantal binalen, dat in het geassembleerde woord voor de macht (incl. teken) ter beschikking wordt gesteld. Zij luidt

RG
RHP + p X
RHT - p X
RE

Het programma Rd1 gebruikt zes werkruimtes in kanaal X 0, n.l. 0 X 0 t/m 3 X 0, 30 X 0 en 31 X 0 (en natuurlijk tijdens het typen ook 4 X 0 en 5 X 0).

De kanalen S 10 en S 11 bevatten de met RO ≡ S 10 resp. RO ≡ S11 ingelezen subroutines Se2 (2-macht) en S12 (2-logarithme).

Over de keuze van p

Te kleine keuze van p is minder erg dan te grote. Immers, als Rd1 met te kleine p is ingelezen, merkt men dit, omdat de machine stopt; met leest het programma opnieuw in met p één groter. Te grote p merkt men niet, maar het programma rekent nodeloos onnauwkeurig!

In dit verband zij er op gewezen, dat Rd1 naast alle voordelen ook nadelen heeft: drijvend rekenen is niet een geneesmiddel voor àlle kwalen. In het bijzonder is het ontoereikend, als grotere precisie essentieel noodzakelijk is. Zo is het onmogelijk, om met Rd1 b.v. $y = x - \sin x$ in enige precisie te berekenen door de sin x van x af te trekken, als x dicht bij nul ligt: in de gegeven precisie zullen sin x en x praktisch aan elkaar gelijk zijn; bij de aftrekking zullen er aan de voorkant vele cijfers wegvallen, en het breukgedeelte van het antwoord ($|b| \geqslant \frac{1}{2}$) zal vele zinloze cijfers bevatten.

Het grote nadeel van drijvend rekenen is, dat "zonder bezwaar" zinloze cijfers afgeleverd kunnen worden. Wie vreest, dat zijn probleem op dit punt critiek is, kan overwegen, het programma - of althans een representatief of gevaarlijk geval - over te draaien, maar nu met p nog 1 groter. De hoop is dan gerechtvaardigd, dat er ernstig afwijkende antwoorden verschijnen, als men aan de rand van de nauwkeurigheid heeft gerekend.

Als voorbeeld een subroutine voor de berekening van nde-graads polynomen. De subroutine wordt - uiteraard - non-interpretatief aangeroepen, de besturing komt eveneens non-interpretatief in het hoofdprogramma terug. De coëfficiënten van het polynoom worden geacht in drijvende notatie op opeenvolgende adressen in het geheugen te staan, de coëfficiënt van de hoogste macht voorop. Het adres van deze coëfficiënt moet bij de aanroep in de a-helft van S worden meegegeven; in de b-helft van S wordt de graad n ($n \geqslant 1$) meegegeven. Argument wordt in R meegegeven, in R wordt het resultaat achtergelaten. De subroutine gebruikt 4 X 0 en is een half kanaal lang.

Subroutine $\sum_{i=0}^{n} a_i (R)^i \Rightarrow (R)$

		RD				
		RA	0	R	0	
=)	0	4	12	R	0	plaats link
		26	17	X	22	graad n $\Rightarrow$ S
	1	26	17	X	20	adres $)a_n($ $\Rightarrow$ A
		0	13	R	0	
	2	4	6	R	0	plaats opdracht voor a_n (buiten de cyclus)
		1	13	R	0	
	3	0	14	R	0	plaats opdracht voor a_{n-1}(binnen de cyclus)
		4	8	R	0	
	4	8	8	R	0	plaats "nalaatste"
		12	15	R	0	
	5	22	0	S	0	=)
		12	4	X	0	(R) $\Rightarrow$ (4 X 0)
	6	(	RX	1		: 10 $)a_n($
					)	=+ 7 7 R 0
b11 =+	7	22	0	S	0	=)
b6 -+		18	4	X	0	
	8	(	RX	1		8 $)a_{i-1}($ met $i = n, n-1, \ldots, 0$
					)	29 0 X 0
=)	9	2	8	R	0	ophoging
		24	1	X	4	variabele
	10	4	8	R	0	opdracht
		1	15	R	0	- nalaatste
	11	28	0	X	0	A $\neq$ 0?
		14	7	R	0	-+ nog niet klaar
	12	(	RX	1		=+ link
					)	
	13	10	0	X	0	
		7	7	R	0	
	14	8	1	X	0	
		29	0	X	0	
	15	(	RX	1		nalaatste = 8 $)a_{-1}($ 29 0 X 0
					)	

Sc1 Subroutine argtangens (netto tijdsduur: $\pm$ 220 msec
ruimte: $1\frac{1}{2}$ trommelkanaal)

Voorponsing: RFR 0 s k

Aanroep: 22 0 s k+1 =)
=) ....

Als kanaal "s k" en de voorste helft van kanaal "s k+1" de voor Sc1 gereserveerde geheugenruimte vormen.

Functie: $\frac{1}{\pi}$ arctg $\frac{\{1\ X\ 0\}}{\{0\ X\ 0\}} \Rightarrow \{S\}$

De arctangens, die door Sc1 berekend wordt, is gedefinieerd als het argument φ van het complexe getal $\{0\ X\ 0\} + i\{1\ X\ 0\}$; kennelijk wordt de φ gekozen, die aan de ongelijkheid $|\varphi| < \pi$ voldoet. (In het grensgeval, dat $\{1\ X\ 0\} = 0$ is en $\{0\ X\ 0\} < 0$ is, levert de subroutine $\{S\} = -(1 - p)$ af.)

N.B. De inhoud van 0 X 0 en 1 X 0 blijft niet onaangetast staan.

Se2 Subroutine 2-macht (netto tijdsduur: 47 msec
ruimte: 1 trommelkanaal)

Voorponsing: RFR 0 s k

Aanroep: 22 0 s k =)
=) ....

als "s k" het voor Se2 gereserveerde trommelkanaal is.

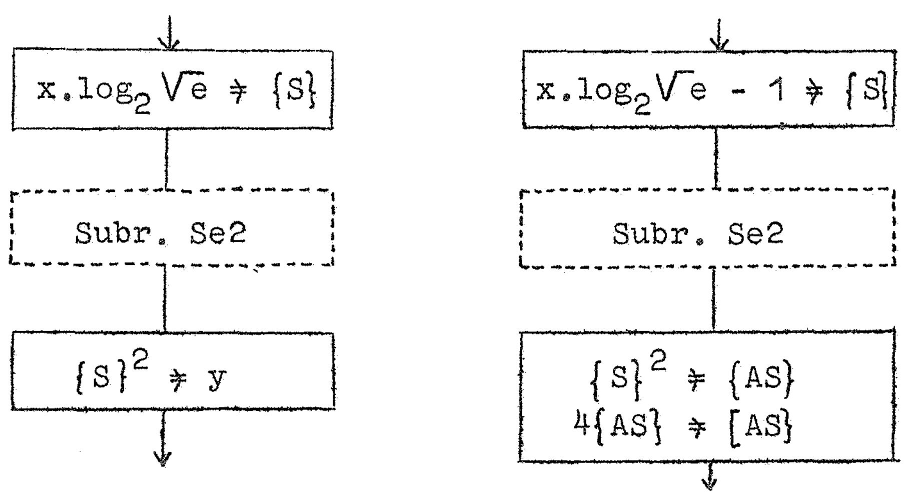
Functie: mits $-1 < \{S\} \leqslant 0$: $2^{\{S\}} = \{S\}$.

De onnauwkeurigheid is 1 peuter; in het bijzonder wordt 1 - p afgeleverd in plaats van 1.

Om deze subroutine te gebruiken voor de berekening van de e-macht, herleidt men

$$e^x = 2^{(\log_2 e).x}$$

Hoe men deze formule programmeert hangt af van het bereik van x. Ter toelichting twee voorbeelden:



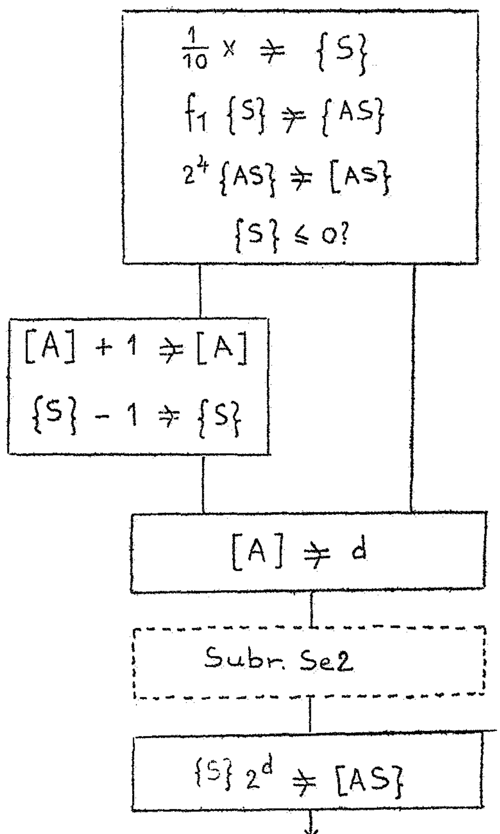
Blokschema $e^x \Rightarrow y$ als $-1 < x \leqslant 0$

Blokschema $e^x = [AS\}$ als $0 < x < 1$

$(2^{33} . \log_2 \sqrt{e} = + 61963\ 28019)$

Bovenstaande voorbeelden zijn slechts suggesties; zodra de exponent met een schalingsfactor belast is, zal dit ook meestal met het antwoord zo zijn. De manier, waarop dan de exponentiële functie berekend wordt, zal dan nogal worden beinvloed door de rest van het programma. ("Erg" zal deze schaling wel niet zijn: anders is ten gevolge van de exponentiële afhankelijkheid het drijvend programma Rd1 de aangewezen oplossing.)

Het volgende blokschema toont een oplossing, als de exponent "bescheiden" geschaald is: wij nemen aan, dat de exponent door b.v. 10 gedeeld is.



$$f_1 = \frac{10.\log_2 e}{16}$$

Blokschema e^x = [AS} als $|x| < 10$.

Toelichting:

In het eerste blok wordt de exponent van de binaire macht, n.l. $x.\log_2 e$ in [AS} geplaatst. De constante f_1 bevat een factor 10 om de schalingsfactor in x te compenseren, en is voorts door 16 gedeeld om $f_1 < 1$ te maken; het effect van deze factor 16 wordt in de volgende schuifopdracht te niet gedaan.

Vervolgens wordt het breukgedeelte van de exponent getest: als dit positief is, wordt er 1 van afgetrokken, terwijl bij het gehele gedeelte 1 wordt opgeteld. (Deze voorzorg is noodzakelijk, omdat het aan Se2 meegegeven argument ≤ 0 moet zijn.)

Het gehele gedeelte wordt even opgeborgen; tenslotte wordt dit via een schuifopdracht in rekening gebracht. Dat het hele gedeelte van de exponent bij grondtal 2 met een schuifopdracht in rekening kan worden gebracht, is de uiteindelijke rechtvaardiging voor de grondtalkeuze voor Se2.

S12 Subroutine 2-logarithme (netto tijdsduur: ± 100 msec
ruimte: 1 trommelkanaal)

Voorponsing: RFR 0 s k

Aanroep: 22 0 s k =)
=) ....

als "s k" het voor S12 gereserveerde trommelkanaal is.

Functie: mits $0 < \{S\} < 1$: $\log_2\{S\} \Rightarrow [AS]$.

De onnauwkeurigheid is 1 peuter

N.B. Subroutine S12 gebruikt 0 X 0 en 1 X 0.

Om deze subroutine te gebruiken om de logarithme van een getal $x \geq 1$ te berekenen, schaalt men x met een macht van 2. Men bepaalt n, zodat $2^{-n}x < 1$, en telt n (in A) op bij het gehele gedeelte van $\log_2(2^{-n}.x)$.

Als x een geheel getal is, kan men vast n = 33 kiezen; soms zal het aanbeveling verdienen, het hoofdprogramma met behulp van een of andere normeercyclus een geschikte n te laten bepalen.

Men realisere zich, dat na een dergelijke optelling A en S heel wel verschillend teken kunnen hebben: het symbool $[AS\}$ is dan dus niet meer van toepassing en moet door $[A] + \{S\}$ vervangen worden.

Om deze subroutine te gebruiken, om de natuurlijke logarithme te berekenen, herleidt men

$$\log_e x = (\log_e 2) . \log_2 x$$

Als - gecombineerd - de natuurlijke logarithme van een getal $x \geq 1$ berekend moet worden, is het waarschijnlijk het meest efficient om x met een 2-macht te schalen, eerst, als boven aangegeven, $\log_2 x$ uit te rekenen, en deze daarna met $\log_e 2$ te vermenigvuldigen.

Om $[A] + \{S\}$ met $\log_e 2$ te vermenigvuldigen kost twee vermenigvuldigingen (de eerste schoon, de tweede additief); tekens van A en S zijn daarna gelijk: het antwoord komt dus in $[AS\}$.

($2^{33}.\log_e 2$ =+ 59540 88944)

<u>Interpretatief programma voor drijvende komma</u>

(Inloopscombinatie, halen van opdrachten, halen en schrijven van getallen)

		RD						
		RA	0	S	0			
=)	0	26	0	X	12		(Inloopscombinatie)	
		26	12	X	28		Isoleer adres in S	
	1	24	21	X	30			
		28	1	X	20		test of link 6- of 7-sprong was	
	2	15	25	S	0	-+	begin bij a-opdracht	
b31S9 -+		12	30	X	0			
	3	8	17	S	0			
		28	4	X	10			
	(4		RX1				2 "φ"	
					)		4 31 X 0	
	5	7	28	S	0	=+	ga aangehaalde b-opdracht doen	
a31 =+		26	21	X	30		(± Schoon in etc.)	
	6	8	18	S	0			
		28	7	X	10			
b15 -+	(7		RX1				10 a	4 a
					)		26 (34-n) X 22	7 31 S 0
	8	26	1	X	20		nu macht in S	
		0	16	S	0		nu breuk in A.	
	9	7	31	S	0	=+	Hoe verder?	
a31 =+		3	2	X	0		(- vuil uit)	
	10	6	11	S	0	=+		
a31 =+		2	2	X	0		(+ vuil uit)	
a10 -+	11	26	21	X	30		zet adres goed in S	
		8	19	S	0		vorm een plaats	
	12	28	7	X	10		de wegbergopdracht	
		10	3	X	0		haal de macht aan	
	13	24	33	X	20		verdubbel de breuk	
		26	31	P	21		schuif (bijna) samen 26(n-1) X 22	
	14	28	0	X	8		S ≠ 0?, zo ja, dan macht te groot	
		26	16	X	0		Stop, als cap.overschrijding	
	15	26	1	X	22		voltooi de assemblage	
		6	7	S	0	=+		

Interpretatief programma voor drijvende komma
(Inloopcombinatie, ~~halen~~ van opdrachten, halen en schrij-
ven van getallen)

	16	0	0	X	0		tekencijfer
		16	0	X	0		(voor wisseling)
	17	2	0	X	0		voor aanhalen
		4	31	X	0		van opdrachten
	18	10	0	X	0		voor ± schoon in, etc.
		26	34	T	22		≡ 26(34-n) X 22
	19	4	0	X	0		voor ± vuil uit
		7	31	S	0		
	20	2	0	S	1		voor het aanhalen
		7	30	S	0		der strooisprongen
b31 =+	21	5	2	X	0		(- schoon in)
		7	22	S	0		=+
b31 =+	22	4	2	X	0		(+ schoon in)
b21 -+		12	3	X	0		na breuk ook macht bergen
-+	23	10	30	X	0		Begin van opdrachten aanhalen!
		13	30	X	0		tweestandenwissel
	24	2	31	X	0		laatste koppel in A
		15	28	S	0	-+	doe de b-opdracht hier nog van
	25	24	1	X	12		ophoging van
b31S1,a2 -+		13	30	X	0		het adres van aanhalen
	26	8	17	S	0		vorm en plaats
		28	27	X	10		variabele opdracht
	(27		RX1				2 "φ"
					)		4 31 X 0
	28	24	17	X	20		draai a-opdracht op b-plaats
b24;a5 -+		26	0	X	12		splits de opdracht
	29	26	17	X	22		op de b-plaats
		26	12	X	28		van het A-register
	30	0	20	S	0		vorm en plaats variabele
b31 -+		28	31	X	2		bele opdracht
	(31		RX1				2 f S 1 "opdrachtenpaar
a9 -+					)		7 30 S 0 uit S 1"
			RE				

Interpretatief programma vóór drijvende komma
(opdrachtenparen, ten dienste van het "rondstrooien" naar 31 S 0)

0					
1					
2					
3					
4					
5		RD			
	RA	6	S	1	
6	26	21	X	30	inconditionele sprong
	7	25	S	0	naar a-plaats
7	26	21	X	30	inconditionele sprong
	7	2	S	0	naar b-plaats
8	7	5	S	0	+ additief in
	6	1	S	2	
9	7	5	S	0	- additief in
	6	0	S	2	
10	7	5	S	0	+ schoon in
	6	22	S	0	
11	7	5	S	0	- schoon in
	6	21	S	0	
12	7	10	S	0	+ vuil uit
	6	23	S	0	
13	7	9	S	0	- vuil uit
	6	23	S	0	
14	2	2	X	0	conditionele sprong
	6	30	S	1	naar a-plaats
15	2	2	X	0	conditionele sprong
	6	30	S	9	naar b-plaats

Interpretatief programma voor drijvende komma

(Opdrachtenparen, ten dienste van het "rondstrooien" naar 31 S 0

	16					
	17					
		RA	18	S	1	
	18	7	5	S	0	+ vermenigvuldiging
		6	1	S	3	
	19	7	5	S	0	- vermenigvuldiging
		6	0	S	3	
	20	7	5	S	0	+ deling
		7	8	S	3	
	21	7	5	S	0	- deling
		7	7	S	3	
	22					
	23					
		RA	24	S	1	
	24	26	21	X	30	$R.2^n \Rightarrow R$
		6	11	S	12	
	25	26	21	X	30	$R.2^{-n} \Rightarrow R$
		7	12	S	12	
	26					
	27					
		RA	28	S	1	
	28	7	5	S	0	typen
		7	13	S	3	
	29	26	21	X	30	"adresloze opdrachten"
		6	28	S	6	f = 29
b31S0 =+	30	29	34	X	20	(conditionele a-sprong)
		14	23	S	0	-+ conditie niet vervuld
	31	26	21	X	30	voer de a-sprong
		7	25	S	0	=+ wel uit
			RE			

Rd1 Kanaal S2

Interpretatief programma voor drijvende komma

(optelling en aftrekking)

		RD					
		RA	0	S	2		
b31S0 =+	0	5	0	X	0		(-additief in)
		2	0	X	0		wissel breuk in A van teken
b31S0 -+	1	12	1	X	0		(+ additief in)
		9	3	X	0		
	2	28	34	X	30		test, welke macht het groot-ste
		14	7	S	2	-+	addendum is het grootste
	3	24	33	X	12		test, of machtverschil
		29	34	X	30		niet al te groot is
	4	14	23	S	0	-+	klaar: addendum valt in 't niet
		9	6	S	2		vorm en plaats schuif-
	5	29	6	X	10		opdracht voor het addendum
		10	2	X	0		zet breuk van R vast in S
	(6	26	33	X	20		Schuif!
		7	11	S	2)	=+	nu A en S adderen
b2 =+	7	25	32	X	12		test, of machtsverschil
		28	34	X	30		niet al te groot is
	8	14	30	S	2	-+	R valt in 't niet
		8	11	S	2		vorm en plaats
	9	28	11	X	10		schuifopdracht voor R
		10	1	X	0		transporteer macht
	10	12	3	X	0		van addendum
		10	2	X	0		zet breuk van R in S
	(11	26	32	X	30		schuif!
b6 -+		12	0	X	0		S ≥ +0?
	12	14	18	S	2	-+	
		28	34	X	20		A≥ =0?
	13	0	0	X	0		vorm som in A
		14	21	S	2	-+	A_+S_-
	14	29	34	X	20		A_-S_-; A ≤ -0? of "geen overloop"
		14	29	S	2	-+	geen overloop
b20 -+	15	26	34	X	28		wel overloop: halveer te
		2	3	X	0		grote breuk

Rd1 Kanaal S2

Interpretatief programma voor drijvende komma (Optelling en aftrekking)

	16	24	1	X	4		vermeerder macht
		4	3	X	0		met 1
	17	12	2	X	0		schrijf breuk in R
		6	23	S	0	=+	klaar
a12 =+	18	29	34	X	20		A ≤ -0?
		0	0	X	0		vorm som
	19	14	21	S	2	-+	A_-S_+
		28	34	X	20		A_+S_+: geen overloop?
	20	14	29	S	2	-+	geen overloop
		6	15	S	2	=+	wel overloop
a19 b13 =+	21	10	3	X	0		A_-S_+en A_+S_-
a20S9 -+		28	34	X	20		A > 0?
a21S9	22	14	27	S	2	-+	Som groter dan nul
		28	0	X	0		A ≠ 0?
	23	14	25	S	2	-+	som kleiner dan nul
		27	1	X	4		Vervang de som: -0
	24	24	36	T	20		≡ 24(36-n)X20
b25 -+		25	1	X	12		negatieve
a23 -+	25	29	33	X	20		normeer-
		15	24	S	2	-+	cyclus
	26	6	28	S	2	=+	
b27 =+		25	1	X	12		positieve
a22 -+	27	28	33	X	20		normeer-
		15	26	S	2	-+	cyclus
a26 -+	28	24	1	X	20		doe laatste verdubbeling teniet
b30 -+		12	3	X	0		plaats macht in R
a20;b14	29	4	2	X	0		plaats breuk in R
		6	23	S	0	=+	klaar
a8 =+	30	10	1	X	0		voor transport van
		7	28	S	2	=+	addendum naar R
	31		RX1				
			RE				

Rd1 Kanaal S3

Interpretatief programma voor drijvende komma

(Vermenigvuldiging, deling en communicatie)

			RD				
		RA	0	S	3		
b31S0 =+	0	5	0	X	0		(- vermenigvuldiging)
		2	0	X	0		wissel factor in A van teken
b31S0 =+	1	8	3	X	0		(+ vermenigvuldiging)
		12	3	X	0		vorm som der machten
	2	24	34	X	22		
		18	2*	X	0		vorm en schrijf
a13 -+	3	4	2	X	0		product
		26	32	X	28		dit kon niet meer
	4	28	0	X	0		verdubbeld worden?
		14	23	S	0	-+	klaar
	5	12	2	X	0		schrijf verdubbeld antwoord
		27	1	X	4		verminder
	6	0	3	X	0		de macht
		4	3	X	0		
	7	6	23	S	0	=+	klaar
b31S0 =+		5	0	X	0		(- deling)
	8	2	0	X	0		wissel deler in A
b31S0 =+		9	3	X	0		(+ deling)
	9	25	1	X	12		verm. verschil der
		13	3	X	0		machten + 1
	10	24	34	X	22		deler naar S
		2	2	X	0		
	11	26	1	X	20		gehalveerde deler
		4	0	X	0		naar 0 X 0
	12	22	0	X	31	=)	deling
		26	34	X	22		quotient naar A
	13	6	3	S	3	=+	dit moet misschien verdubbeld
b31S0 =+		4	2	X	0		(typen)
	14	12	3	X	0		
		22	0	S	4	=)	binair -+ dec. drijvend
	15	12	4093	X	0		schrijf breuk
		4	4095	X	0		schrijf decimale macht

Rd1 Kanaal S3

Interpretatief programma voor drijvende komma

(Vermenigvuldiging, deling en communicatie)

	16	10	4093	X	0		typ breuk
		22	0	X	28	=)	
	17	10	4095	X	0		typ decimale macht
		22	1	X	28	=)	
	18	6	23	S	0	=+	klaar
Invoerpr.=+		2	22	S	3		Verwerking van
	19	4	30	X	0		controlecombinatie
		2	23	S	3		er worden drie
	20	4	5	X	0		woorden getrans-
		2	24	S	3		porteerd naar
	21	4	6	X	0		kanaal X 0
		6	8	X	0	=+	
	22	4	31	X	0		naar 30 X 0
		6	5	X	0		
	23	22	13	X	17		naar 5 X 0
		12	3	X	0		
	24	22	13	X	17		naar 6 X 0
		6	25	S	3		
b6X0 =+	25	12	2	X	0		decimale macht τ
		10	3	X	0		(breuk T in 3 X 0 !)
	26	28	34	X	30		
		15	27	S	3	-+	|T|-+ S
	27	11	3	X	0		
b26 -+		26	1	X	4		
a29	28	25	1	X	4		binaire voornor-
		28	33	X	30		mering van inge-
	29	14	28	S	3	-+	lezen decimale breuk
		24	1	X	30		laatste verdubbeling onge-daan
	30	6	0	S	5	=+	naar dec -+ binair drijvend
		8	8	X	8		
	31		RX1				
			RE				

Rd1 Kanaal S4

Interpretatief programma voor drijvende komma

(binair drijvend -+ decimaal drijvend, voor uitvoer)

		RD						
		RA	0	S	4			
=)	0	(10	2	X	0			
		28	0	X	2)		plaats link	
	1	28	34	X	30			$\lvert B\rvert \Rightarrow S$
		15	2	S	4	-+		
	(2	11	2	X	0		werkruimte	en adres kleine link
		2	3	X	0	)	$\beta - 0 \Rightarrow \beta$	
	3	25	0	X	4			
a7 -+		4	3	X	0		$\beta > 0?$	
	4	15	10	S	4	-+		
		3	31	S	4			
	5	24	4	X	4		$\tau - 4 \Rightarrow \tau$	
		29	31	X	2			
	6	23	22	S	4	=)	"$\frac{10^4}{2^{13}} \cdot \lvert b\rvert \Rightarrow \lvert B\rvert$"	
		24	13	X	4		$\beta + 13 = \beta$	
	7	7	3	S	4	=+		
b11 =+		3	31	S	4			
	8	25	3	X	4		$\tau + 3 \Rightarrow \tau$	
		29	31	X	2			
	9	2	29	S	4		transporteer $2^{10}/10^3 - 1$	
		28	28	X	2			
	10	23	22	S	4	=)	"$\frac{2^{10}}{10^3} \lvert B\rvert \Rightarrow \lvert B\rvert$"	
a4 -+		25	10	X	4		$\beta - 10 \Rightarrow \beta$	
	11	4	3	X	0		$\beta > 0?$	
		15	7	S	4	-+		
	12	24	10	X	4		$\beta + 10 \Rightarrow \beta$ (laatste ongedaan)	
b18 -+		28	33	X	30		nu is $\beta > 0$; $2\lvert B\rvert \Rightarrow \lvert B\rvert < 1?$	
	13	15	17	S	4	-+	geen capaciteitsoverschrijding	
		24	1	X	30		tevele verdubbeling ongedaan	
	14	4	3	X	0		redt	
		3	31	S	4			
	15	25	1	X	4		$\tau + 1 \Rightarrow \tau$	
		29	31	X	2			

Rd1 Kanaal S4

Interpretatief programma voor drijvende komma

(binair drijvend -+ decimaal drijvend, voor uitvoer)

	16	18	30	S	4		$0{,}2\lvert B\rvert \Rightarrow \lvert B\rvert$
		24	34	X	22		
	17	2	3	X	0		haal β terug
a13 -+		25	1	X	4		$\beta - 1 \Rightarrow \beta$
	18	28	0	X	0		$\beta \neq 0$?
		15	12	S	4	-+	
	19	2	2	X	0		test oorsrponkelijke
		28	34	X	20		teken van B
	20	2	31	S	4		$\tau \Rightarrow A$
		14	0	S	4	-+	B = T; naar link
	21	28	2	X	10		$- S \Rightarrow S$
		11	2	S	4		
	22	6	0	S	4	=+	- B = T; naar link
=)		28	2	X	2		plaats kleine link
	23	12	0	X	0		
		18	28	S	4		$(S).\frac{10^4}{2^{13}}$ of
	24	0	0	X	0		$(S).\frac{2^{10}}{10^3} = (S) < 1$?
		28	34	X	20		
	25	26	33	X	28		
		14	27	S	4	-+	geen overschrijding A = 0
	26	26	1	X	28		$\frac{1}{2}[AS\} \Rightarrow \{S\}$
		26	1	X	4		$1 \Rightarrow A$
b25 -+	27	0	3	X	0		$A + \beta \Rightarrow A$
		6	2	S	4	=+	kleine link
	(28		RG				$= \frac{10^4}{2^{13}} - 1$
		+ 18958	25408)				
	29	+ 2061	58430				$= \frac{2^{10}}{10^3} - 1$
	30	+ 17179	86919				$= \frac{1}{5}$
	31		+0				τ
			RE				

Rd1 Kanaal S5

__Interpretatief programma voor drijvende komma__

(decimaal drijvend -+ binair drijvend, voor invoer)

			RD				
		RA	0	S	5		
a30S3 =+	0	(4	24	X	0		berg binaire voornormering $\Rightarrow \beta$
		2	2	X	0	)	$\tau \Rightarrow A$
b4 -+	1	4	2	X	0		$A \Rightarrow \tau \geqslant +0$? (meestal: > 0?)
		14	8	S	5	-+	
	2	23	24	S	5	=)	$\frac{2^{10}}{10^3}\lvert T\rvert \Rightarrow \lvert T\rvert$
		24	10	X	4		$\beta - 10 \Rightarrow \beta$
	3	5	24	X	0		
		2	2	X	0		
	4	24	3	X	4		$\tau + 3$ ($\Rightarrow \tau$)
		6	1	S	5	=+	
a9 =+	5	2	31	S	5		transport $\frac{10^4}{2^{13}} - 1$
		28	30	X	2		
	6	23	24	S	5	=)	$\frac{10^4}{2^{13}}\lvert T\rvert \Rightarrow \lvert T\rvert$
		25	13	X	4		$\beta + 13 \Rightarrow \beta$
	7	5	24	X	0		
		2	2	X	0		
b1 -+	8	25	4	X	4		$\tau - 4 \Rightarrow \tau > 0$?
		4	2	X	0		
	9	14	5	S	5	-+	
		24	4	X	4		$\tau + 4 \Rightarrow \tau$ (laatste ongedaan)
	10	7	16	S	5	=+	
a17 =+		27	3	X	4		$- 3 \Rightarrow A$
	11	12	1	X	0		
		26	2	X	30		"$\frac{10}{2^3}\lvert T\rvert \Rightarrow \lvert T\rvert$" < 1?
	12	8	1	X	0		
		28	34	X	30		
	13	15	14	S	5	-+	geen overschrijding
		24	1	X	22		halveer (tekencijfer!)
	14	27	4	X	4		$- 4 \Rightarrow A$
a13 -+		1	24	X	0		$\beta + 3 \Rightarrow \beta$ of
	15	5	24	X	0		$\beta + 4 \Rightarrow \beta$
		2	2	X	0		pak τ

Rd1 Kanaal S5

Interpretatief programma voor drijvende komma, (decimaal drijvend -+ binair drijvend, voor invoer)

	16	25	1	X	4		$\tau - 1 \Rightarrow \tau > 0$?
a10 =+		4	2	X	0		
	17	15	10	S	5	-+	nog niet klaar
		2	3	X	0		test oorspronkelijke
	18	28	34	X	20		teken van T
		2	24	X	0		$\beta \Rightarrow A$
	19	15	20	S	5	-+	teken S goed
		28	31	X	10		$- S \Rightarrow S$
	20	11	31	S	5		
a19 -+		24	34	X	22		$A \rightleftarrows S$
	21	24	33	X	20		"2A" $\Rightarrow A$
		26	31	P	21	≡	26 (n - 1)X22
	22	28	0	X	8		$S \neq 0$?
		26	16	X	0		Stop (Capaciteitsoverschrijding)
	23	26	1	X	22		Voltooi assemblage in A
		24	34	X	22		$A \Rightarrow S$
	24	22	25	X	0	=+	naar bergopdracht
=)		28	0	X	2		
	25	12	1	X	0		$\{S\} \cdot \frac{2^{10}}{10^3}$ of
		18	30	S	5		
	26	0	1	X	0		$\{S\} \cdot \frac{10^4}{2^{13}} \Rightarrow [AS\} < 1$?
		28	34	X	20		
	27	26	33	X	28		
		14	29	S	5	-+	alles goed; A = 0
	28	26	1	X	28		$\frac{1}{2}[AS\} \Rightarrow \{S\}$
		27	1	X	4		$- 1 \Rightarrow A$
b27 -+	29	1	24	X	0		$\beta + A \Rightarrow \beta$
		6	0	S	5	=+	
	30		RG				
		+ 2061		58430			$\frac{2^{10}}{10^3} - 1$
	31	+ 18958		25408			$\frac{10^4}{2^{13}} - 1$
			RE				

Rd1 Kanaal S6

Interpretatief programma voor drijvende komma

(f = 29)

			RD				
		RA	0	S	6		
	0	12	2	X	0		quasilink voor
		6	23	S	0		worteltrekking
a27 =+	1	29	34	X	30		Worteltrekking
		15	2	S	6	-+	
	2	24	1	X	12		
b1 -+		26	1	X	22		
	3	12	3	X	0		schrijf gehalveerde macht
		29	34	X	20		A ≤ -0? (we hoeven niet te hal- veren?)
	4	10	2	X	0		breuk ⇒ S
		2	0	S	6		quasi-link ⇒ A
	5	14	0	X	27	-+	naar wortelsubroutine
		26	1	X	30		halveer S (macht was oneven)
	6	6	0	X	27	=+	alsnog naar wortelsubroutine
b27 =+		3	30	X	0		Uitloop
	7	28	34	X	20		
		14	9	S	6	-+	b-opdracht van hetzelfde woord
	8	2	30	X	0		a-opdracht van het
		24	1	X	4		volgende woord
b7 -+	9	24	12	X	20		maak de
		24	7	X	4		7 sprong
	10	14	11	S	6	-+	handhaaf die
		25	1	X	4		7 -+ 6 (a-opdracht)
a10 -+	11	24	22	X	20		schuif sprongopdracht goed
		28	12	X	2		schrijf voor voeten
a26 =+	(12	2	3	X	0		(=+) Sinus
		25	0	X	4)		
	13	29	34	X	20		m - 0 ⇒ A ≤ -0?
		14	12	S	7	-+	
	14	25	35	T	4	≡	25 (35-n)X4, d.w.z. m-2 ⇒ m
		29	34	X	20		m ≤ 33 - n
	15	15	19	S	6	-+	er blijven zinvolle cijfers over
		6	19	S	6	=+	geen zinvolle cijfers meer

Rd1 Kanaal S6

Interpretatief programma voor drijvende komma

(f = 29)

a23 =+	16	2	17	S	6		quasi link in A
		6	0	S	11	=+	naar subroutine $^2\log\{S\}$
	17	0	3	X	0		
		6	16	S	9		
	18	26	0	P	28	+	≡ 26 n X 28
		24	33	X	30		
b15 =+	19	27	16	X	0		Stop zinloze cijfers in sinus
a15 -+		1	18	S	6		- <A> = 26 (33-m) X 28
	20	6	0	S	7	=+	24 33 X 30
b31 =+		26	16	X	0		
	21	27	16	X	0		
b31 =+		26	16	X	0		
	22	27	16	X	0		
b31 =+		10	2	X	0		ln(R)
	23	6	16	S	6	=+	
b31 =+		10	2	X	0		$e^{(R)}$
	24	6	0	S	9	=+	
b31 =+		10	2	X	0		cos (R) - 1
	25	7	26	S	8	=+	
b31 =+		10	2	X	0		sin (R)
	26	6	12	S	6	=+	
b31 =+		10	3	X	0		Worteltrekking
	27	6	1	S	6	=+	
b31 =+		7	6	S	6	=+	Uitloop
b31S0 =+	28	26	34	X	22		"adres" ≠ A Analyse f = 29
		26	3	X	28		Splits laagste 3 af
	29	28	0	X	0		A ≠ 0
		26	16	X	0		Stop; onbest. opdracht
	30	24	13	X	30		schuif adres door
		9	31	S	6		vorm en plaats
	(31	29	31	X	10		strooisprong
		7	27	S	6	=+	strooisprong

Rd1 Kanaal S7

Interpretatief programma voor drijvende komma

(Sin (R))

			RD				
		RA	0	S	7		
a20S6 =+	0	29	1	X	2		schrijf schuifopdracht
		18	30	S	7		x $^4/2\pi$
	(1		RX1				[AS] : in eenhden 2π
					)		nu in {S} : in eenheden π
	2	9	29	S	7		
		13	0	X	0		
	3	14	4	S	7	-+	$\frac{1}{2} - \lvert (S) - \frac{1}{2} \rvert \Rightarrow (S)$
		10	0	X	0		
a3 -+	4	8	29	S	7		
		18	31	S	7		x $\frac{\pi}{4} \Rightarrow$ {AS}
	5	26	32	X	28		2{AS} $\Rightarrow$ {S}; in eenheden 2 radiaal
		26	2	X	4		(m =) 2 $\Rightarrow$ A
	6	28	34	X	30		S > 0?
		15	9	S	7	-+	echt $\neq$ 0!
	7	25	1	X	12		S - 1 $\Rightarrow$ S (wegw. van - 0)
b8 -+		25	1	X	4		neg. normeer-
	8	29	33	X	30		cyclus
		15	7	S	7	-+	
	9	6	11	S	7	=+	
b10;b6 =+		25	1	X	4		pos. normeer-
	10	28	33	X	30		cyclus.
		15	9	S	7	-+	
a9 -+	11	24	1	X	30		laatste verdubbeling ongedaan
		4	3	X	0		schrijf macht m
b13S6 -+	12	24	33	X	20		2m $\Rightarrow$ A
		24	30	X	4		2m + 30 $\Rightarrow$ A < 0?
	13	29	34	X	20		
		15	27	S	7	-+	sin R $\approx$ R
	14	1	17	S	7		
		29	29	X	2		schrijf nalaatste
	15	28	31	X	10		u_{n+1}
a23 -+		28	30	X	10		u_n

Rd1 Kanaal S7

Interpretatief programma voor drijvende komma

(Sin (R))

16	10	31	S	7		u_{n+1}
	19	31	S	7		u_{n+1}
(17	26	31	X	28		
	24	34	X	22)		
18	18	30	S	7		u_n
	24	34	X	22		
19	8	30	S	7		u_n (d.w.z. $u_{n-1} \Rightarrow S$)
	2	30	S	7	]	$u_n \Rightarrow u_{n+1}$
20	28	31	X	2	]	
	2	17	S	7	]	aflagen van
21	25	2	X	4		variabele schuif-
	28	17	X	2	]	opdracht
22	1	29	S	7		test met nalaatste
	28	34	X	20		
23	15	15	S	7	-+	nog een keer in de repetitie
	12	2	X	0		schrijf breuk
24	26	34	X	22		
	26	32	X	28		
25	28	0	X	0		A $\neq$ 0?
	14	23	S	0	-+	kon niet verdubbeld
26	2	3	X	0	]	kon wel verdubbeld
	25	1	X	4		m - 1 $\Rightarrow$ m
27	4	3	X	0	]	schrijf macht antwoord
b13 -+	12	2	X	0		schrijf breuk antwoord
28	6	23	S	0	=+	klaar
	8	8	X	8		
(29		RG				"nalaatste"
	+.5			)		
(30	+ 54685	22205		)		$^4/2\pi$; u_n
(31	+ 67465	18852		)		$\pi/4$; u_{n+1}
		RE				

Rd1 Kanaal S8

Interpretatief programma voor drijvende komma

(Cos (R) - 1)

			RD				
		RA	0	S	8		
	0	8	8	X	8		
b28 =+		25	34	T	4	≡	25 34-n X 4
	1	29	34	X	20		m - 2 ≯ m; m ≤ 33 - n?
		15	2	S	8	-+	wel zinvolle cijfers
	2	27	16	X	0		stop, als geen zinvolle cijfers
b1 -+		1	4	S	8	]	plaats en vorm variabele
	3	29	4	X	2	]	schuifopdracht
		18	31	S	8		x $^4/2\pi$
	(4	26	0	P	28	≡	26 n X 28: -+ 26 (33-m) X 28
		28	33	X	30	)	in {S} in eenheden $\pi \geq +0$?
	5	15	6	S	8	-+	neem abs.
		12	2	X	0	]	-S ≯ S waarde van
	6	11	2	X	0	]	het argument
a5 -+		18	30	S	8		x $^\pi/4$
	7	26	33	X	28		in eenheden 4 radiaal in S
		24	1	X	12		om S = 0 weg te werken
	8	26	2	X	4		m = 2 ≯ A
		25	1	X	4	]	
	9	28	33	X	30	]	positieve
		15	8	S	8	-+]	normeercyclus
	10	24	1	X	30		laatste verdubbeling te niet (A = n-1)
a28 -+		24	33	X	20	]	2m - 2 ≯ A
	11	24	2	X	4	]	2m naar geheugen
		4	3	X	0	]	
	(12	12	2	X	0		
		24	30	X	4)		
	13	29	34	X	20		m ≤ -15?
		19	2	X	0	]	- arg^2 ≯ S
	14	24	34	X	22	]	
		15	22	S	8	-+	cos (R) $\approx -\frac{(R)^2}{2}$
	15	3	3	X	0		
		25	30	X	4		

Rd1 Kanaal S8

Interpretatief programma voor drijvende komma

(Cos (R) -1)

	16	0	18	S	8		
		28	12	X	2		zet nalaatste opdracht
a22 -+	17	12	2	X	0		u_{n-1}
		18	2	X	0		u_{n-1}
	(18	26	32	X	20		
		24	34	X	22)		
	19	8	2	X	0		u_{n-1}: d.w.z. $u_n \neq S$
		2	18	S	8		
	20	25	2	X	4		aflaging van schuifopdracht
		28	18	X	2		
	21	1	12	S	8		- nalaatste
		28	34	X	20		
	22	14	17	S	8	-+	nog niet klaar
b14 -+		2	3	X	0		
	23	25	1	X	4		negatieve
		29	33	X	30		normeer-
	24	14	23	S.	8	-+	cyclus
		24	1	X	30		laatste verdubbeling teniet
	25	12	2	X	0		schrijf breuk
		4	3	X	0		schrijf macht
	26	6	23	S	0	=+	klaar
a25S6 =+		2	3	X	0		m - 1 $\neq$ A
	27	25	1	X	4		
		29	34	X	20		m $\leqslant$ 1?
	28	15	10	S	8	-+	geen reductie modulo 2π
		7	0	S	8	=+	wel reductie modulo 2π
	29		RX1				
			RG				
	30	+ 67465		18852			$\pi/4$
	31	+ 54685		22205			$4/2\pi$
			RE				

Rd1 Kanaal S9

Interpretatief programma voor drijvende komma

(exponentiele functie en logarithme)

		RA	RD 0	S	9		
a24S9 =+	0	2	3	X	0		
		24	1	X	4		m+1 ⋡ m' > 0?
:	1	28	34	X	20		
		15	6	S	9	-+	
	2	24	33	X	4		
		29	34	X	20		
	3	26	16	X	0		Stop, als m'⩽ -33
		1	5	S	9		vorm en
b8 -+	4	29	5	X	2		plaats schuifopdracht
		18	15	S	9		x $\frac{^2\log e}{2}$
	(5	26	33	X	28		26 |m'| X 28 26 | 33-m' X 28
		26	33	X	28)		26 33 X 28 29 | 34 X 30
	6	7	9	S	9	=+	
b1 =+		25	32	X	4		
	7	28	34	X	20		
		26	16	X	0		Stop, als m'⩾ +33
	8	1	9	S	9		vorm schuifopdracht
		6	4	S	9	=+	
	9	26	1	X	28		
a6 =+		29	34	X	30		maak breuk-
	10	15	11	S	9	-+	gedeelte van
		8	13	S	9		de exponent neg.
	11	24	1	X	4		
a10 -+		4	3	X	0		Schrijf macht van het antwoord
	12	2	14	S	9		pak quasi link ⋡ A
		6	0	S	10	=+	naar $2^{\{S\}}$
	13	0	0	X	0		
		16	0	X	0		
	14	12	2	X	0		
		6	23	S	0		
	15		RG				$\frac{1}{2}\ {}^2\log e$
		+ 6	1963	28	019		

Rd1 Kanaal S9

Interpretatief programma voor drijvende komma
(exponentiele functie en logarithme)

van ^{2}log S =+	16	4	3	X	0		
		18	28	S	9		x ln 2
	17	10	3	X	0		
		16	28	S	9		x ln 2: normering dubbel lengte getal
	18	28	0	X	0		A = 0?
		15	21	S	9	-+	(m > 0)
	19	26	34	X	22		
		28	0	X	0		
	20	15	21	S	2	-+	naar normering
		26	1	X	4		
	21	7	21	S	2	=+	
b18 =+		12	2	X	0		
	22	26	1	X	12		
		6	24	S	9	=+	
b26 =+	23	10	3	X	0		
		24	1	X	12		normering van
b22 -+	24	12	3	X	0		dubbel-
		10	2	X	0		lengte getal
	25	26	1	X	28		[AS} .
		12	2	X	0		
	26	28	0	X	0	A=0?	
		14	23	S	9	-+	
	27	6	23	S	0	=+	klaar
		8	8	X	8		
	28		RG				
		+ 59540		88944			ln 2
	29		RX1				
			RD				
b31S0 =+	30	29	34	X	20		(conditionele b-sprong)
		14	23	S	0	-+	conditie niet vervuld
	31	26	21	X	30		voer de b-sprong
		7	2	S	0	=+	wel uit
			RE				

Rd1 Kanaal S12

Interpretatief programma voor drijvende komma

(normering, schuifopdrachten)

			RD				
		RA	0	S	12		
=)	0	28	11	X	2		plaats link; normeer {S}
		26	1	X	4		1 ⇸ A
	1	29	0	X	8		S = 0?
		7	3	S	12	=+	
=)	2	28	11	X	2		plaats link; normeer [S]
		26	34	X	4		34 ⇸ A
	3	29	0	X	8		S = 0?
b1 -+		25	16	X	0		stop op nul
	4	28	34	X	30		S > 0?
		14	7	S	12	-+	
b6 -+	5	25	1	X	4		negatieve
		29	33	X	30		normeer-
	6	14	5	S	12	-+	cyclus
		7	8	S	12	=+	
a8,b4 =+	7	25	1	X	4		positieve
		28	33	X	30		normeer-
	8	14	7	S	12	-+	cyclus
b6 -+		24	34	X	22		S⇄A
	9	26	31	P	21	≡	26 (n-1) X 22
		28	0	X	8		S ≠ 0?
	10	26	16	X	0		Stop, als macht te groot
		26	34	X	28		assemblage in S
b31S0 =+	11	(8	3	X	0		$R.2^{n}$ ⇸ R en link =+
		12	3	X	0)		
	12	6	23	S	0	=+	
b31S0 =+		9	3	X	0		$R.2^{-n}$ ⇸ R
	13	13	3	X	0		
		6	23	S	0	=+	
	14		RE				
	15						

Rd1 Kanaal S12

Interpretatief programma voor drijvende komma

(normering schuifopdrachten)

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

Kanaal RO

Sc1 Subroutine arctangens

	(0						increment
					)		(op trommel)
	1						
	2	RG					
		RA	3	R	0		
	3	+ 85899	34591				
	(4		RX	2			u $(=\frac{-x}{y}$ of $\frac{y}{x})$; in buffer
					)		
	(5						u^2; in buffer
		RD			)		
(a12R1) =+	6	28	4	X	10		plaats u
		18	4	R	0		
	7	28	5	X	2		plaats u^2
		26	0	X	12		0 ⇒ S
b11 -+	(8	8	25	R	0		S + c_i ⇒ S
		18	5	R	0	)	S.u^2 ⇒ S
	9	24	34	X	22		
		2	8	R	0		aflaging van
	10	25	1	X	4		variabele
		28	8	X	2		opdracht
	11	29	5	X	20		test op einde
		14	8	R	0	-+	nog niet klaar
	12	8	15	R	0		S + c_1 ⇒ S
		18	4	R	0		S.u ⇒ S
	13	26	33	X	28		
		8	0	R	0		+ increment
	(14		RX1			=+	link; op trommel
		RG			)		
	15	+ 27342	61092				= c_1

Kanaal R0

Sc1 Subroutine arctangens

16	- 9114 19420	$= c_3$
17	+ 5468 26414	$= c_5$
18	- 3902 80308	$= c_7$
19	+ 3014 43583	$= c_9$
20	- 2379 04537	$= c_{11}$
21	+ 1781 29915	$= c_{13}$
22	- 1141 36450	$= c_{15}$
23	+ 552 15290	$= c_{17}$
24	- 171 52053	$= c_{19}$
25	+ 25 00122	$= c_{21}$
26	+ 85899 34591	$= 1-p$
27	RX3	
28		
29		
30	+ 42949 67296	$= \frac{1}{2}$
31		

Kanaal R1

Sc1 Subroutine arctangens

		RD					
		RA	0	R	1		
=)	(0	4	14	R	0		plaats link;
		2	0	X	0		wr $\frac{1}{2}x$
	1	26	1	X	20		
		28	0	X	2		vorm $\frac{1}{2}x$
	2	2	1	X	0		y
		26	1	X	20		$\frac{1}{2}y \Rightarrow A$
	3	0	0	R	1		$\frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y \Rightarrow A$
		28	34	X	20		$A > 0?$
	4	26	0	X	12		$0 \Rightarrow S$
		1	1	X	0		$\frac{1}{2}x - \frac{1}{2}y \Rightarrow A$
	5	15	7	R	1	-+	$\frac{1}{2}(x + y) > 0$
		11	26	R	0		"1" $\Rightarrow$ {S}
	6	28	34	X	20		$A > 0?$
		15	8	R	1	-+	$\frac{1}{2}(x - y) > 0$
	7	7	12	R	1	=+	$\frac{1}{2}(x - y) \leq 0$
a5 =+		28	34	X	20		$A > 0?$
	8	15	12	R	1	-+	$\frac{1}{2}(x - y) > 0$
b6 -+		8	30	R	0		$\frac{1}{2}$
	9	12	0	R	0		increment
		11	0	X	0		x
	10	18	3	R	0		1 - p
		10	1	X	0		y, als $\frac{-x}{y} \Rightarrow u$
b14 -+	11	4	0	X	0		berg deeltal
		2	15	R	1		quasi-link in A
	12	6	0	X	31	=+	naar breukendeling
a8;a7 =+		12	0	R	0		increment
	13	10	1	X	0		y
		18	3	R	0		
	14	10	0	X	0		x
		6	11	R	1	=+	als $\frac{y}{x} \Rightarrow u$
	15	6	6	R	0		quasi-link
		8	8	X	8		

Kanaal RO

<u>Se2 Subroutine 2-macht</u>

			RD				
		RA	0	R	0		
=)	0	28	18	X	2		plaats link
		25	0	X	12		
	1	28	34	X	30		$S > 0?$
		26	16	X	0		+ cond. stop
	2	8	19	R	0		$S + \frac{1}{2} \Rightarrow S$
		29	20	X	10		$-S \Rightarrow \beta$; $S \leq 0?$
	3	14	4	R	0	-+	
		9	19	R	0		$S - \frac{1}{2} \Rightarrow S$
a3 -+	4	28	21	X	10		$S \Rightarrow \alpha$
		18	22	R	0		c_6
	5	24	34	X	22		
		8	23	R	0		c_5
	6	18	21	R	0		
		24	34	X	22		
	7	8	24	R	0		c_4
		18	21	R	0		
	8	24	34	X	22		
		8	25	R	0		c_3
	9	18	21	R	0		
		24	34	X	22		
	10	8	26	R	0		c_2
		18	21	R	0		
	11	24	34	X	22		
		8	27	R	0		c_1
	12	18	21	R	0		
		24	34	X	22		
	13	9	28	R	0		$\{S\} + 1 \Rightarrow \{S\}$
		28	34	X	30		$S > 0?$
	14	14	15	R	0	-+	geen capaciteitsoverschrijding
		10	28	R	0		$1 - p \Rightarrow S$
a14 -+	15	3	20	R	0		$-\beta = A$
		28	34	X	20		$A > 0?$

Kanaal RO

Se2 Subroutine 2-macht

	16	14	18	R	0	-+	
		2	19	R	0		
	17	16	29	R	0		$\frac{1}{2}\sqrt{2}.\{s\} \neq \{s\}$
		26	33	X	28		
a16 -+	(18	RX	1			=+	link
		RG				)	
	19	+ 42949	67296				= +.5
	(20	RX	2				$\beta = -(x + \frac{1}{2})$
						)	
	(21						$\alpha = x$ of $x + \frac{1}{2}$
						)	
	22	+	11	13832			$= c_6$
	23	+ 113	13959				$= c_5$
	24	+ 825	72290				$= c_4$
	25	+ 4767	68548				$= c_3$
	26	+ 20635	29310				$= c_2$
	27	+ 59540	88923				$= c_1$
	28	+ 85899	34591				= 1-p
	29	+ 60740	01000				$= \frac{1}{2}\sqrt{2}$
	30						
	31						

Kanaal RO

S12 Subroutine 2-logarithme

			RD				
		RA	0	R	0		
=)	0	28	31	X	2		zet link
		25	0	X	12		
	1	28	34	X	30		stop, als $S \leq 0$
		27	16	X	0		
	2	26	2	X	4		
b3 -+		25	2	X	4		
	3	28	33	X	30		normeercyclus
		15	2	R	0	-+	
	4	4	0	X	0		2 x gehele gedeelte log.
		24	1	X	30		laatste x 2 te niet
	5	9	25	R	0		
		28	34	X	30		$S \geqslant \frac{1}{2}\sqrt{2}$?
	6	8	25	R	0		
		14	9	R	0	-+	
	7	25	1	X	4		$[A] - 1 \Rightarrow [A]$
		4	0	X	0		2 x geh. ged. van log.
	8	18	27	R	0		
		24	33	X	22		$\sqrt{2}.S \Rightarrow S$
b6 -+	9	8	26	R	0		$\{S\} - 1 \Rightarrow \{S\}$
		13	1	X	0		
	10	26	0	X	12		$0 \Rightarrow S$
		2	28	R	0		plaatsing en
a15 -+	11	25	1	X	4		aflaging van
		28	13	X	2		variabele opdracht
	12	28	5	X	20		test of klaar
		14	29	R	0	-+	klaar
	(13	RX	1			≡	8 25-n R 0
					)		18 1 X 0
	14	24	34	X	22		A⇄S
		2	13	R	0		
	15	6	11	R	0	=+	
		8	8	X	8		

Kanaal RO

Subroutine 2-logarithme

	16	RG				
		- 38027	21481			$= c_1$
	17	- 61963	24044			$= c_2$
	18	- 41310	55133			$= c_3$
	19	- 30945	02882			$= c_4$
	20	- 25234	73095			$= c_5$
	21	- 17342	50850			$= c_6$
	22	- 32450	59222			$= c_7$
	23	+ 22338	07012			$= c_8$
	24	- 61223	35876			$= c_9$
	25	+ 60740	00999			$= \frac{1}{2}\sqrt{2} - p$
	26	+ 85899	34591			$= 1 - p$
	27	+ 60740	01000			$= \frac{1}{2}\sqrt{2}$
		RD				
	28	8	25	R	0	
		18	1	X	0	
b12 =+	29	9	1	X	0	voltooi breukgedeelte
		24	33	X	30	x 2
	30	2	0	X	0	zet 2 x geh. gedeelte
		26	1	X	28	halveer [AS]
	(31				=+	link