



Beeld- bewerking

P. de Beer

Beeldbewerking is een techniek die volop in de belangstelling staat (zie ook het artikel op pag. 183). Dit blijkt eveneens uit de enorme bedragen die door Japan en Amerika worden geïnvesteerd in het onderzoek naar nieuwe mogelijkheden op dit terrein. We zullen niet proberen een volledig overzicht te geven, doch ons in dit artikel beperken tot enige grondbeginselen waarop beeldbewerking is gebaseerd. Een praktische uitwerking in de vorm van een programma voor de Apple zal hopelijk nog wat meer licht op deze materie werpen.

Achtergronden en streven

Beeldbewerking is iets waarmee de mens al heel lang bezig is. Wanneer we denken aan het met de hand retoucheren van foto's, hebben we een van de oudere technieken voor ogen. Deze diende om de geringe kwaliteit van de toenmalige fotografie enigszins op te vijzelen. Kwaliteitsverbetering is eigenlijk steeds het doel van beeldbewerking. Een nog niet zo lang geleden opgekomen techniek is televisie. Hiermee kunnen eveneens beelden worden gemanipuleerd. Ze kunnen bijvoorbeeld verbeterd worden gepresenteerd; denk aan vergroten, mengen en overvloeien. Een derde grondslag is van nog recentere datum en wordt gevormd door de digitale verwerking van beelden, vooral met behulp van de computer. Deze laatste techniek biedt door zijn ingebouwde kunstmatige intelligentie de meeste mogelijkheden voor de toekomst. De fotografie is het maken van een momentopname van wat het oog kan waarnemen, zonder in zich zelf enig vermogen tot interpretatie te bezitten. Televisie is in staat bewegende beelden te registreren en weer te geven. Met behulp van computers kunnen beelden worden

vastgelegd en in zeer geringe mate worden geïnterpreteerd. Dat er nog steeds een groot verschil bestaat tussen dit laatste en het gezichtsvermogen blijkt uit het volgende. De totale stroom aan informatie van oog naar hersenen komt bij de mens overeen met 5 Mbit/s. Dit is ook haalbaar bij de huidige stand in de computertechniek, doch het grote wonder is gelegen in de reductie van de hoeveelheid data. De hersenen verwerken uiteindelijk 50 bit/s zonder dat nuttige informatie verloren gaat. De manier waarop dat mogelijk is, is voor ons nog altijd een raadsel. Toch zullen dergelijke methoden moeten worden gevonden om met succes aan bijvoorbeeld patroonherkenning te kunnen doen in zogenoemde „real time”. Vooral meer parallele behandeling van beeldinformatie is hierbij van wezenlijk belang.

Toepassing

De toepassing van beeldbewerking is op velerlei terreinen te vinden. In de medische diagnostiek en de industrie wordt veelvuldig van deze techniek gebruik gemaakt. Voorbeelden zijn computertomografie, hetzij met behulp van röntgen, hetzij met behulp van radioactieve isotopen. Door de computer wordt aan de hand van ééndimen-



Beeldbewerking

Afb. 1 Samenstelling van de beeldmatrix met grijswaarden.

Afb. 2 Deelmatrix van 3×3 punten, waarbinnen bewerkingen worden uitgevoerd.

Afb. 3 Methode om de contouren van een beeld te berekenen.

van het assembleren van producten, sorteren van goederen, het besturen van voertuigen, robots enz. De laatst genoemde toepassingen stellen hoge eisen aan de computer, omdat hier een beeld moet worden geïnterpreteerd. Aan de hand van die interpretatie moeten binnen een relatief kort tijdsbestek bepaalde handelingen worden verricht.

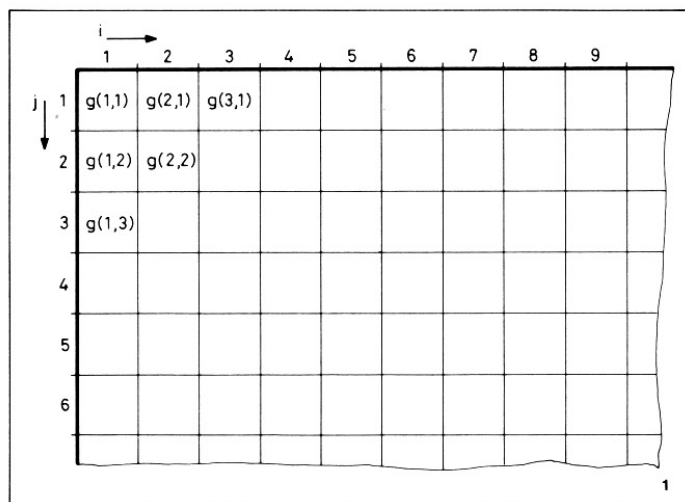
Beeldinformatie

De informatie die nodig is om een

door de hoeveelheid lijnen en de maximale verandering per tijdseenheid in de grijsniveaus, de gevoeligheid door het aantal mogelijke grijsniveaus. Een computerbeeld is veelal nauw betrokken met de televisie, omdat daarvan voor de weergave gebruik wordt gemaakt. Binnen in de computer wordt echter meestal een andere definitie gebruikt. Een beeld wordt opgevat als een tweedimensionale matrix, waarbij elk punt de grijswaarde bevat van de overeenkomende plaats in de matrix. Deze oplossing ligt voor de hand omdat hij goed aansluit bij de eigenschappen van de computer. Een op een scherm weergegeven punt van de matrix wordt ook wel pixel (picture element) genoemd. De pixelgrootte bepaalt het oplossend vermogen van het beeld en de hoeveelheid mogelijke grijsniveaus de gevoeligheid. Een beeld kan dus worden opgevat als de som van de beeldelementen $g(i, j)$; i en j bepalen de plaats, g is de grijswaarde, zie afb. 1. Van deze methode wordt in het programma ook gebruik gemaakt.

Methoden

Welke methode van beeldbewerking moet worden toegepast hangt af van het doel. In de medische wereld gaat het vaak om het detecteren van bepaalde afwijkingen in organen of weefsels, zie bijvoorbeeld de omslagfoto. Enerzijds zal men proberen de signaalruisverhouding van het gemaakte beeld te verbeteren om meer onderscheid te verkrijgen in de diverse dichtheden (opname van bepaalde stoffen in organen). Anderzijds zal men een zo scherp mogelijk beeld willen creëren om bijvoorbeeld de begrenzing van een tumor goed te kunnen vaststellen. In de industrie is het vaak van belang een zo functioneel mogelijk beeld te vormen, waarbij alleen de gewenste informatie overblijft, denk hierbij aan patroonherkenning en besturing. Veranderingen in het contrast en verschuiving van het grijsniveau zijn vaak handige hulpmiddelen, alsook het vergroten, verschuiven en optellen van beelden. Een voorbeeld is het aan elkaar monteren van satellietfoto's. We zullen een aantal van deze bewerkingen na-



sionale gegevens een tweedimensionaal beeld gereconstrueerd. Met behulp van meerdere tomogrammen kan zelfs een driedimensionaal beeld worden gerealiseerd. Dit is ook ineens mogelijk door middel van een nieuwe techniek, NMR (Nuclear Magnetic Resonance) genoemd. Elk type weefsel van het menselijk lichaam heeft een specifieke kernspinresonantie die met behulp van een sterk magnetisch veld kan worden geregistreerd. Verder bestaat er de ultrasone techniek, waarin de computer eveneens een steeds belangrijkere rol gaat spelen. In de industrie wordt beeldbewerking toegepast voor bijvoorbeeld patroonherkenning (machinaal lezen van de postadressen), inspecteren van gedrukte bedrading en maskers en het met röntgenstralen controleren van metalen voorwerpen op gebreken. Een nieuw terrein is de visuele analyse van tafereel ten behoe-

beeld eenduidig te bepalen kan op vele manieren worden gedefinieerd. Parameters hierbij zijn het oplossend vermogen, ofte wel wat is de openingshoek waarbij dingen nog juist van elkaar kunnen worden onderscheiden, en de gevoeligheid, ofte wel wat is het kleinste intensiteitsverschil dat nog kan worden waargenomen. Voor het menselijk oog is het oplossend vermogen bepaald door de fysieke afmetingen van de kegeltjes en de staafjes in het netvlies. Er kunnen ongeveer 250 verschillende grijsniveaus worden waargenomen, waarmee de gevoeligheid vast ligt. Een beeld wordt gedefinieerd door een bepaalde lichtintensiteit op een bepaalde plaats van het netvlies.

Bij televisie is dit gedefinieerd door een samenhangende seriële datastroom. Een reeks grijsniveaus is gerangschikt in lijnen die samen het totale beeld vormen. Het oplossend vermogen is gegeven



gaan en toelichten aan de hand van een programma.

Signaaluuisverhouding

Een al vroeg toegepaste methode om beelden te verbeteren was het gebruik van gladstrijkfilters (smoothing). De signaaluuisverhouding wordt er aanmerkelijk door verbeterd. Een zeer eenvoudige vorm is het nemen van het gemiddelde van een aantal beeldpunten. Eventueel kan aan elk beeldpunt nog een bepaalde zwaarte worden toegekend. Meestal wordt gewerkt binnen een klein vlakje van het beeld, bestaande uit 3×3 of 5×5 beeldpunten, zie afb. 2. Om een punt van het bewerkte beeld te berekenen wordt hieraan het gewogen gemiddelde van het vlakje rond dit punt uit het oorspronkelijke beeld toegekend. Gesproken wordt van een lopend gemiddelde wanneer de coëfficiënten van het filter als volgt worden gekozen:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

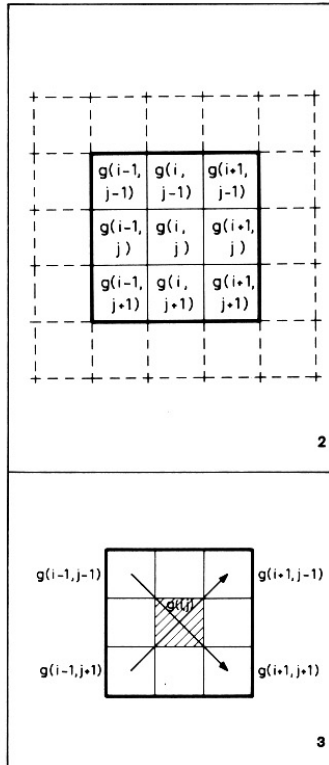
Een andere methode is:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Beide zijn in het programma toegepast en kunnen worden uitgetoetst. Opvallend is het verlies aan oplossend vermogen. Om dit enigszins te verbeteren heeft men ook wel filters toegepast met een Butterworth- of een Chebyshev-karakteristiek. Een verdere verbetering is het gebruik van een filter afhankelijk te maken van de signaaluuisverhouding ter plaatse. Zijn er grote verschillen in grijsniveaus in de omgeving van een bepaald punt dan wordt aangenomen dat het hier om een contour gaat, zodat filteren ongewenst is om vervaging te voorkomen. De beslissing wel of niet filteren is soms te weinig subtiel. Daartoe laat men de mate van filtering ook wel continu variëren met de signaaluuisverhouding. Dit levert goede resultaten.

Contourversterking

Een andere groep beeldbewerkingen hebben tot doel de contouren in



het beeld te verbeteren. Hierdoor kunnen details beter worden onderscheiden. Een reeds in de fotografie toegepast principe is het superponeren van het oorspronkelijke beeld op een eniger mate gedefocuseerd negatief. Een defocusering kan worden gerealiseerd door een gladstrijkfiter, zoals lopend gemiddelde $g(i, j)$, toe te passen op een matrix van bijvoorbeeld 3×3 punten rond een centraal punt $g(i, j)$. De nieuwe waarde $G(i, j)$ wordt bepaald door de relatie:

$$G(i, j) = 2 \cdot [g(i, j) - 0,5 \cdot \bar{g(i, j)}]$$

Deze is toegepast in het programma. Het resultaat is een versterking van de contouren en dus ook een toename van de ruis. Wanneer men enkel in de contouren van een beeld is geïnteresseerd om bijvoorbeeld een patroon te kunnen herkennen dan kan dat op de volgende manier worden gerealiseerd. Men bepaalt de gradiënt ofte wel de steilheid in twee richtingen rond het centrale beeldpunt en wel kruisings (zie afb. 3). In de formule

$G(i, j) = \{ [g(i-1, j-1) - g(i+1, j+1)]^2 + [g(i+1, j-1) - g(i-1, j+1)]^2 \}^{1/2}$ worden grote veranderingen omgezet in hoge waarden en kleine veranderingen in lage waarden. Het uiteindelijke resultaat is dat van het beeld alleen de contouren zichtbaar worden. Ook dit kan met het programma worden geprobeerd.

Beïnvloeding van het contrast

Hieronder wordt verstaan het veranderen van de verdeling van de grijswaarden. Aan elke pixel van het beeld wordt door een bepaalde bewerking een nieuwe grijswaarde toegekend. Dit biedt bijvoorbeeld de mogelijkheid om niet juist belichte delen van het beeld op te halen. Aan donkere delen kunnen meer grijswaarden worden toegekend, zodat het effect van onderbelichting teniet wordt gedaan. Hetzelfde geldt voor overbelichting. De toekenningskarakteristiek kan lineair ($G = a \cdot g + b$) zijn, maar ook hyperbolisch of exponentieel, waardoor bijzondere effecten kunnen worden verkregen. In het programma is van dit alles slechts een rudimentair gedeelte aanwezig door de afwezigheid van grijsniveaus. Alleen kan een drempelwaarde worden gekozen, die de grijswaarden scheidt in wit en zwart.

(Wordt vervolgd)

Rectificatie

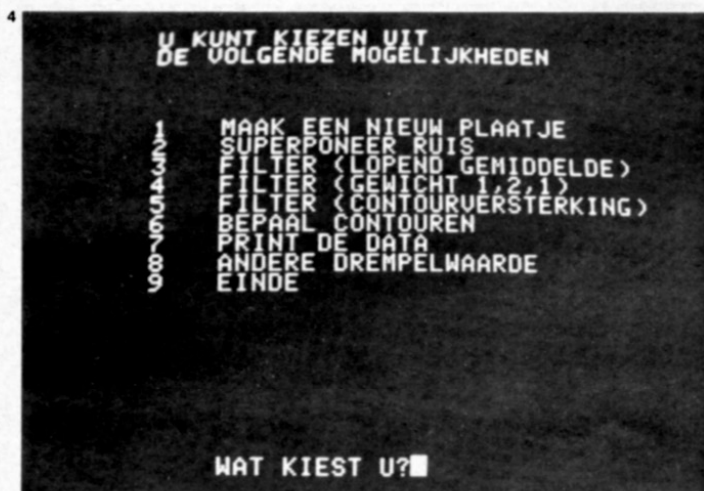
In het programma voor het EPROM-programmeerapparaat in RB, januari 1981, blz. 48 is een foutje geslopen op regelnummer 0520 van de lijst. Deze moet luiden:
0520 : 20 15 0B JSR SHFV
SCHUIF VIJF MAAL LINKS.
Verder menen wij veel mensen een dienst te bewijzen door de importeur van het IC SC-01 van Votrax in Nederland te noemen naar aanleiding van het artikel „Laat de chip maar praten” in RB, maart 1982. Dit is de firma Alcom in Capelle aan de IJssel.



Beeld- bewerking

Deel 2

P. de Beer



Filteren in het Fourier-domein

Voor het bewerken van beelden wordt ook dikwijls gebruik gemaakt van de Fourier-transformatie. Zoals bekend kan elke periodieke functie worden geschreven als de som van een aantal harmonischen, ieder met een eigen amplitude en fase. In formule:

$$F(x) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cdot \cos nx + b_n \cdot \sin nx)$$

Hierin is $F(x)$ de transformatie van $f(x)$, A_0 een constante en zijn a_n en b_n de diverse coëfficiënten. De interesse gaat voornamelijk uit naar de coëfficiënten van de diverse harmonischen n . Voor een tweedimensionaal beeld worden deze gegeven door de formule:

$$G(u,v) = \frac{1}{M} \cdot \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{M-1} g(m,n) \cdot e^{-\frac{2\pi j}{M} \cdot (um+vn)}$$

Hierin zijn $g(m,n)$ de grijswaarden uit het oorspronkelijke beeld, u en v de harmonischen van de ruimtelijke frequentie en $G(u,v)$ de complexe coëfficiënten, waarbij $u,v = 0,1,2,\dots,M-1$.

Door deze coëfficiënten te beïnvloeden kan het uiteindelijke beeld worden bewerkt. Onderdrukken van hogere frequenties vermindert de ruis en heeft een gladstrijkeffect. Onderdrukking van lagere frequenties resulteert in meer ruis en contourversterking. Na beïnvloeding van de Fouriercoëfficiënten kan door de inverse transformatie weer een ruimtelijk beeld

worden verkregen. De formule is:

$$g(m,n) = \frac{1}{M} \cdot \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{M-1} G(u,v) \cdot e^{\frac{-2\pi j}{M} \cdot (mu+nv)}$$

De transformatie is volledig omkeerbaar. Toepassing van dit type beeldbewerking in het programma zou te ver voeren en is in Basic erg tijdrovend. Verwezen wordt hiervoor naar een programma uit bijvoorbeeld *Byte*, maart 1981, „A beginners guide to spectral analysis, part 2”.

Programma

Om het een en ander visueel zichtbaar te maken is er een programma in Basic voor de Apple (48K) afgedrukt. Zie hiervoor de lijst.

Hiermee kunnen een aantal bewerkingen worden gerealiseerd. Compromissen waren echter onvermijdelijk. De Apple heeft een beperkte hoeveelheid geheugen en kent in de zwart-wit „hoge resolutie”-mode slechts twee kleuren, namelijk zwart en wit. Dit maakt het afbeelden van grijsinten onmogelijk. Er wordt dan ook gewerkt met data, waarvan de waarden boven of onder een bepaalde drempel liggen.

Waarden onder de drempel worden zwart, waarden erboven wit afgebeeld. Wanneer men het programma start, tekent de computer een plaatje. Met behulp van de data in het DATA-statement (regel 10000 en verder) worden zwarte pixels op een witte achtergrond getekend. Zwart krijgt de waarde 0 en wit de waarde 100. Vervolgens kunt u uit het menu kiezen (afb. 4). Allereerst kan men ruis over het beeld

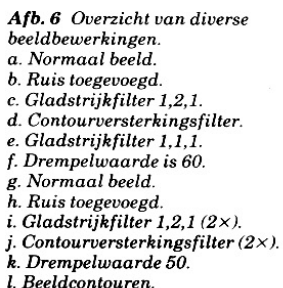
Lijst Beeldbewerkingsprogramma voor de Apple

menu kunnen een aantal filterfuncties worden gekozen. Twee typen gladstrijkfilters en twee contourversterkende filters. Deze kunnen één of meerdere malen worden uitgevoerd. Het resultaat verschijnt steeds op het scherm, zodat beelden met elkaar kunnen worden vergeleken. Een nieuwe bewerking wordt toegepast op het laatst geproduceerde beeld. Wanneer het resultaat niet bevalt, kan via het menu een nieuw schoon plaatje worden gemaakt. Dit verschijnt

```

1000 PRINT " 2 SUPERPOWNER RUIS"
1090 FILTER (LOFEM:GEMIDDELDE)*
1100 PRINT " 4 FILTER (GEMICHT 1,2,1)"
1110 PRINT " 5 FILTER (CONTOURVERSTERKING)"
1120 PRINT " 6 BERRAP. CONTOURWENT"
1130 PRINT " 7 PRINT DE WINTP"
1140 PRINT " 8 ANDERE OORSPELWAARDE"
1150 PRINT " EINDE"
1160 PRINT : PRINT : PRINT
1170 PRINT : PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
1180 INPUT " WAT RIJST U??%K"
1190 HOME : UTAB 244 PORE - 16304.0
1200 RETURN
1500 REM *****
1510 REM * HAAK EEN PLATJE *
1520 REM *****
1530 RESTORE
1540 FOR I = 1 TO M25
1550 FOR J = 1 TO M11
1560 PIC1(J,I) = 100
1570 NEXT J
1580 NEXT I
1590 REMD ETP
1600 IF B1% = M25 GOTO 1720
1610 IF B1% = M25 THEN B1% = M25
1620 REMD ETP, B1%, ETP
1630 IF ETP = M25 THEN B1% = M25
1640 IF B1% = M11 THEN B1% = M11
1650 IF ETP = M11 THEN B1% = M11
1660 FOR J = B1% TO ETP
1670 FOR I = ETP TO B1%
1680 PIC1(I,J) = 0
1690 NEXT I
1700 NEXT J
1710 GOTO 1540
1720 RETURN
2000 REM *****
2010 REM * GEBUURD PLATJE *
2020 REM *****
2030 FOR I = 1 TO M25
2040 FOR J = 1 TO M11
2050 IF PIC1(J,I) = 0 THEN HCOLOR% = 4: GOTO 2070
2060 HCOLOR% = 5
2070 HCOLT = I * PHC1(J) + PUS2
2080 NEXT J
2090 NEXT I
2100 PHC = PHC + M11 + 10
2110 IF (250 - PHC) = M11 GOTO 2140
2120 PUS = PUS + M25 + 10*PHC + 1
2130 IF (150 - PUS) = 705 THEN PUS = 0*PHC + M11 + 10
2140 RETURN
2500 REM *****
2510 REM * VERBODEN PLATJE *
2520 REM *****
2530 PRINT : PRINT
2540 PRINT "EVEN GELOED AUB"
2550 RETURN
3000 REM *****
3010 REM * SUPERPOWNER RUIS *
3020 REM *****
3030 PRINT : PRINT : PRINT
3040 INPUT " WAT IS DE RUISAMPLITUDE? (NORMAAL 150)" : HRA%
3050 GOSUB 2500
3060 FOR J = 1 TO M25
3070 FOR I = 1 TO M11

```



gramma is een voorbeeld van wat mogelijk is en nodigt uit tot zelfwerkzaamheid.
Met dank aan Philips.

```

0500 RETURN
0500 REM *****
0510 REM * FILTER 9000 CONTOURINTERGRAC *
0520 REM *****
0530 FOR K = 1 TO N1
0540 FOR J = 2 TO (M2 - 1)
0550 FOR I = 2 TO (M1 - 1)
0560 F1(I,J) = SOB*(PIC(I - 1),J - 1) + PIC(I + 1),J) +
0570 F1(I) * 2 + (PIC(I - 1),J - 1) - PIC(I - 1),J + 1) +
0580 2)
0590 NEXT I
0600 NEXT J
0610 FOR I = 2 TO (M2 - 1)
0620 FOR J = 2 TO (M1 - 1)
0630 PIC(I,J) = F1(I,J)
0640 NEXT I
0650 NEXT J
0660 NEXT K
0670 RETURN
0680 REM *****
0690 REM * PRINT DATA UIT *
0700 REM *****
0710 FOKE = 16304.0
0720 MORE
0730 INPUT "TUSSEN WELKE KOLONEN? (X,Y):"JKX,LYK
0740 FOR I = 0 TO LYK: PRINT "KOLON "I"
0750 PRINT " PRINT "DATA"
0760 FOR I = 1 TO M1:
0770 PRINT PIC(I,J) " ";
0780 NEXT I
0790 PRINT " PRINT
0800 NEXT J
0810 INPUT "HEER DATA? (Y/N):"AS
0820 IF AS = "Y" GOTO 0540
0830 MORE
0840 INPUT "TWER 24
0850 FOKE = 16304.0
0860 RETURN
0870 REM *****
0880 REM * PLATJIE NET ANDERE DREMPEL *
0890 REM *****
0900 PRINT " PRINT
0910 PRINT " PRINT
0920 PRINT " IS DE NIEUW DREMPELWAARDE? (WAS "IDW:
0930 ":", NORMAL 50);
0940 RETURN
0950 SOUSE 2030
0960 RETURN
0970 REM *****
0980 REM * HOUEVEL MAAL FILTEREN *
0990 REM *****
1000 REM *****
1010 REM * DATA VOOR PLATJIE, BJ.EJ,BI.EI *
1020 REM *****
1030 DATA 4.10,35.40,11.40,6.6,11.11,6.45,40.40,6.45,11.40,45.4
1040 DATA 34.40,11.20,26.33,11.11,26.33,20.20,26.26,11.20,26.33
1050 DATA 14.22,11.11,14.14,11.20,14.22,20.20,22.11,20.14,22
1060 DATA 26.35,26.26,26.35,40.40,26.26,40.35,35.26,40.35
1070 DATA 30.30,26.35,36.36
1080 DATA 22.32,46.50,40.40,46.50,29.39,49.49,29.39,53.53,29.39
1090 DATA 22.32,46.50,40.40,46.50,29.39,49.49,29.39,53.53,29.39

```