

Adhemar Bultheel

Katholieke Universiteit Leuven
Department of Computer Science
Celestijnenlaan 200 A
B-3001 Heverlee, België
adhemar.bultheel@cs.kuleuven.be

Ronald Cools

Katholieke Universiteit Leuven
Department of Computer Science
Celestijnenlaan 200 A
B-3001 Heverlee, België
ronald.cools@cs.kuleuven.be

Samenleving

Zestig jaar numerieke wiskunde

Op 29–30 oktober 2007 vond aan het departement computerwetenschappen van de Katholieke Universiteit Leuven het symposium ‘The birth of numerical analysis’ plaats, naar aanleiding van het verschijnen van een artikel zestig jaar geleden dat wordt beschouwd als de geboorte van de ‘moderne’ numerieke wiskunde. Voor dat symposium werd een aantal numerici uitgenodigd, die reeds actief waren rond het midden van de vorige eeuw. Ze hebben getuigd van het ontstaan van hun vakgebied en de evolutie die het sindsdien heeft doorgemaakt. Het artikel, dat eerder verscheen in *SIAM News*, is een verslag van de voordrachten.

De numerieke wiskunde wordt in wikipedia omschreven als ‘het deelgebied van de wiskunde waarin algoritmes voor problemen in de continue wiskunde bestudeerd worden (in tegenstelling tot discrete wiskunde). Dit betekent dat het vooral gaat over reële of complexe variabelen, de oplossing van differentiaalvergelijkingen en andere vergelijkbare problemen die optreden in de natuurkunde en techniek’. Een reëel getal kan in principe slechts voorgesteld worden door oneindig veel cijfers, en op een digitale computer reserveert men voor het opslaan van een reëel getal slechts een eindig aantal bits. Een eindig geheugen betekent dat men slechts benaderingen kan bewaren van eindig veel reële getallen. Het euforisch idee dat de digitale computers de ‘domme rekenfouten’, zoals vergissingen of schrijffouten van menselijke rekenaars niet zouden maken, werd dus al gauw getemperd door het besef dat digitale

computers in feite bij ongeveer elke berekening een fout, weliswaar een zeer kleine fout, maar toch een fout maken. Al deze kleine fouten planten zich voort als een virus doorheen de vele elementaire bewerkingen die de computer maakt en kunnen eventueel zorgen dat het uiteindelijke resultaat helemaal niet meer klopt met de realiteit.

De geboorte?

Een nauwkeurige analyse van dit soort foutenvoortplanting bij het oplossen van stelsels lineaire vergelijkingen werd voor het eerst gepubliceerd in een artikel van John von Neumann en Herman Goldstine: ‘Numerical inversion of matrices of high order’, gepubliceerd in het novembernummer van de *Bulletin of the American Mathematical Society* in 1947. Omdat dit de eerste keer was dat een dergelijke analyse werd gemaakt, verwijst men soms naar dit artikel als het begin van de moderne

numerieke wiskunde. Natuurlijk werden veel vroeger ook al numerieke berekeningen gemaakt en loste men problemen op van natuur en techniek, maar de schaal waarop dit gebeurde nam natuurlijk wel een enorme vlucht sinds het in gebruik nemen van digitale computers. De ‘grote stelsels’ waarnaar in de titel van het artikel verwezen wordt is naar onze huidige normen zeer bescheiden. Men vermeldt in een voetnoot dat er ‘zeer ernstige problemen komen’ als men stelsels van meer dan 10 vergelijkingen wil oplossen. In een volgende voetnoot denkt men dat het ooit misschien wel mogelijk wordt om stelsels met 100 vergelijkingen op te lossen. Als je dan bedenkt dat men om de PageRank van Google te bepalen (weliswaar zeer ijle) stelsels oplost die ongeveer 10 miljard vergelijkingen hebben, dan beseft men wel dat er een hele weg is afgelegd.

Zestig jaar jong: back to the future

Als we het von Neumann-Goldstineartikel inderdaad als de start zien, dan betekent dat dat in november 2007, de numerieke wiskunde zestig jaar jong wordt. Dit was voor de wetenschappelijke onderzoeksgemeenschap (WOG) Geavanceerde Numerieke Methodes voor Wiskundige Modelling de aanleiding



Van links naar rechts: H. Keller, C. Brezinski, G. Wanner, B. Ford, A. Watson, K. Atkinson, R. Jeltsch, R. Plemmons, M. Powell, J. Lyness, J. Dongarra. Op de voorgrond: de organisatoren: R. Cools and A. Bultheel

om een tweedaags symposium te organiseren aan de Katholieke Universiteit Leuven. Het was de bedoeling een aantal onderzoekers die midden vorige eeuw of kort daarna reeds actief waren op het gebied van de numerieke analyse uit te nodigen om over hun ervaring te vertellen en om een overzicht te geven van de evolutie die binnen hun vakgebied heeft plaatsgevonden. Teruggrijpen naar de oorsprong is belangrijk in elke cultuur, en dat is niet anders voor een vakgebied als de numerieke wiskunde. Twaalf sprekers werden bereid gevonden om op de vooravond van de verjaardag, namelijk 29 en 30 oktober 2007, hun verhaal te komen vertellen tijdens het symposium.

Extrapolatie

De voormiddag van de eerste dag stond in het teken van extrapolatie. Heel veel numerieke methodes stellen een rij van opeenvolgende benaderingen op, waarvan men hoopt dat ze convergeren naar de beoogde oplossing. Indien het berekenen van een nieuwe benadering veel werk vraagt, dan kan het zeer nuttig zijn om een aantal van de reeds berekende benaderingen met veel minder rekenwerk te hercombineren tot een nieuwe benadering. Dat noemt men extrapolatie (naar de limiet). In de voordracht van *Claude Brezinski* werd een overzicht gegeven van de ontwikkeling van de extrapolatiemethodes. Voor de bere-

kening van π gebruikte Christiaan Huygens in de zeventiende eeuw een extrapolatietechniek die pas veel later in 1910 door Richardson werd herontdekt en onder de naam Richardson extrapolatie bekend is geworden. Een andere extrapolatiemethode werd beschreven in 1955 door Werner Romberg. Hier wordt gepoogd de rij van opeenvolgende benaderingen voor een integraal, berekend door de trapziumregel, te versnellen. Deze methode is bekend geraakt als Rombergintegratie. Daarna, met het invoeren van de digitale rekenmachine, volgen de verbeteringen, veralgemeningen en varianten zich sneller op: Aitken, Steffensen, Takakazu, Shanks, Wynn, QD en epsilon-algoritme zullen numerici zeker bekend in de oren klinken.

Claude Brezinski (1941) is emeritus van de universiteit van Lille en is op vele verwante gebieden actief waaronder extrapolatiemethodes maar ook Padé benadering, kettingbreuken, orthogonale veeltermen, numerieke lineaire algebra en niet-lineaire vergelijkingen. Hij heeft ook altijd een grote interesse gehad voor de geschiedenis van de wetenschap, waarover hij trouwens ook verscheidene boeken heeft gepubliceerd.

Integratie over andere domeinen

Het verhaal van *James Lyness* sloot goed aan bij dat van Brezinski. De Romberg integratiemethode voor ééndimensionale integratie kreeg ook toepassingen in meerdimensionale integratie. Maar de eerste serieuze toepassingen kwamen er pas in 1975 voor integralen

over een simplex en integralen met een integrand met singulariteit. Vandaag is dit uitgegroeid tot een elegante theorie voor integralen over een polyhedraal domein van functies met een algebraïsche of logaritmische singulariteit in de hoekpunten. De extrapolatie is gesteund op een drietal elementen. Men schrijft een reeksontwikkeling op voor de kwadratuurformule in functie van een parameter. Bijvoorbeeld: $Q^{[m]}f = If + B_2/m^2 + B_4/m^4 + \dots + B_{2p}/m^{2p} + R_{2p}(m)$. Hierin is $Q^{[\infty]} = If$ de gezochte integraal en R_n de benaderingsfout. Deze reeks is maar bij wijze van voorbeeld en de vorm ervan moet aangepast worden volgens de singulariteit van de integrand f . Dan rekent men dit uit voor een aantal waarden van m , wat men kan opschrijven als

$$\begin{bmatrix} Q^{[m_1]}f \\ \vdots \\ Q^{[m_n]}f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & m_1^{-2} & \dots & m_1^{-2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & m_n^{-2} & \dots & m_n^{-2p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} If \\ B_2 \\ \vdots \\ B_{2p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Ra_{2p}(m_1) \\ \vdots \\ Ra_{2p}(m_n) \end{bmatrix} \equiv Q = VI + R.$$

Dit stelsel moet men oplossen om If te berekenen. De boodschap van het verhaal hier, ook naar de verdere toekomstige ontwikke-



Links: G. Wanner, C. Brezinski, M. Powell; midden: J. Dongarra, B. Ford, H. Keller; rechts: B. Plemmons, M. Powell

ling toe, is dat de basis van de hele theorie slechts drie eenvoudige componenten heeft: een routine om de integrand te evalueren, een routine die een integratiereguleert, en een routine om een lineair stelsel op te lossen. Het opstellen van de vorm van de reeksontwikkeling is meestal gemakkelijk, hoewel de bewijzen van de precieze uitdrukkingen dikwijls ingewikkeld zijn.

James Lyness (1932) is verbonden aan het Argonne National Laboratory, en aan de Universiteit van New South Wales. Zijn eerste publicaties verschenen vooral in natuurkundetijdschriften, maar sinds hij in 1963 zijn eerste artikel (samen met D. Mustard en J.M. Blatt) publiceerde in *The Computer Journal* over N -dimensionale integratie is dit onderwerp zijn onderzoek blijven domineren.

Functionele vergelijkingen

De namiddag van de eerste dag stond in het teken van functionele vergelijkingen.

Historisch gezien zou men de methode van Euler (1768) voor het oplossen van gewone differentiaalvergelijkingen kunnen zien als het zaadje waaruit alle andere methodes zijn voortgesprongen. Zo werd het voorgesteld in de voordracht van *Gerhard Wanner*. Runge, Heun en Kutta stelden omstreeks 1900 hun methodes op. Die waren gebaseerd op een Taylorreeksontwikkeling van de oplossing, en ze stelden een numerieke benadering voorop die daar zo goed mogelijk mee overeenstemde. Dit wil zeggen dat voor een kleine stap h het verschil tussen de echte en de benaderende oplossing $O(h^p)$ is met p zo hoog mogelijk. Omdat dit al gauw aanleiding geeft tot grote onoverzichtelijke stelsels in de parameters van de methode, is onder andere door Butcher en door Hairer en Wanner, in de jaren zestig en zeventig een belangrijke inspanning geleverd om dit te systematiseren.

Meerstapsmethodes stammen dan weer af van technieken van Adams en Bashford uit 1885. Deze maken gebruik van meerdere reeds berekende punten van de oplossing, in tegenstelling tot Runge-Kutta methodes die enkel gebaseerd zijn op het laatste punt. Dahlquist publiceerde in 1956 de veralgemeende lineaire multistap methodes. Belangrijke inspanningen werden geleverd op het gebied van stapcontrole, en stabiliteit.

gemeende lineaire multistap methodes. Belangrijke inspanningen werden geleverd op het gebied van stapcontrole, en stabiliteit.

Gerhard Wanner (1942) is professor aan de universiteit van Genève en voormalig voorzitter van de Zwitserse wiskundige vereniging. Hij schreef samen met Hairer meerdere boeken over analyse en differentiaalvergelijkingen. De historische aspecten speelden daarbij steeds een prominente rol. Hij had wetenschappelijke contacten op alle 'niveau's': van 2 meter beneden de zeespiegel (het Runge-Kutta symposium in het CWI in Amsterdam ter gelegenheid van 100 jaar Runge-Kutta methodes in 1995) tot de top van de Mont Blanc op 4807 meter waar hij samen met Hairer was.

stijve differentiaalvergelijkingen

De draad werd hier verder opgenomen door *Rolf Jeltsch*. Hij had het voornamelijk over de evolutie van het stabiliteitsbegrip bij het oplossen van stijve differentiaalvergelijkingen.

Stijve differentiaalvergelijkingen leveren problemen op voor het numeriek oplossen meestal omdat er een dynamiek beschreven wordt die zich op sterk verschillende schalen afspelen. Men wou methodes ontwerpen die voor een theoretisch stabiele (begrensde) oplossing ook numeriek een stabiele oplossing zou gevonden worden. Voor meerstapsmethodes bewees Dahlquist in 1963 zijn bekende tweede barrière die stelde dat men geen orde hoger dan twee kon verwachten voor een A-stabiele methode. De A staat voor absoluut, wat wil zeggen dat de numerieke methode een begrensde oplossing berekent wat ook de grootte van de stap is. Dit ontketende een zoektocht naar andere soorten methodes en deed een heel alfabet ontstaan van zwakkere soorten van stabiliteit.

Rolf Jeltsch (1945) is professor aan de Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH). Hij was president van de European Mathematical Society (EMS) (1999–2002) en van de Zwitserse wiskundige vereniging (2002–2003). Sinds 2005 is hij voorzitter van Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik, GAMM. In de jaren 1970 ging zijn onderzoek vooral over gewone differentiaalvergelijkingen. Sinds de jaren 1980 ligt de focus meer op hyperbolische partiële differentiaalvergelijkingen en grootschalige berekeningen met ingenieurstoepassingen.

Singulariteiten

Herbert Keller is de ouderdomsdeken van dit gezelschap. Zijn boodschap was dat de singulariteiten in de numerieke wiskunde al altijd een zeer belangrijke rol gespeeld hebben. Dat begint met een deling door nul (of door 'bijna nul'), maar is eveneens van belang bij numerieke integratie waar de integrand singulier wordt of bij het oplossen van een stelsel lineaire of niet-lineaire vergelijkingen met een Jacobiaan die singulier wordt. Maar al gauw heeft dit te maken met grootschalige problemen die sterk verbonden zijn met differentiaal- en integraalvergelijkingen, dynamische systemen, enzovoort. Het verwaarlozen van een singulariteit is een erfzonde die moet uitgeroeid worden. Zonder rekening te houden met de inherente singulariteiten van het probleem kan men dat probleem niet goed oplossen.

Herbert Keller (1925) is emeritus professor van het California Institute of Technology. Samen met E. Isaacson is hij auteur van het legendarische boek *Analysis of numerical methods* dat in 1966 verscheen bij J. Wiley. Zijn wetenschappelijke bijdragen gingen veelal over randwaardenproblemen en methodes voor het oplossen van bifurcatieproblemen.

Fredholm-integraalvergelijkingen

De eerste dag werd afgesloten met de lezing van *Kendall Atkinson* over zijn persoonlijke visie op de evolutie van het onderzoek in verband met integraalvergelijkingen. Hij legt de nadruk op het gebruik van functionaalanalyse en operator theorie bij de numerieke analyse van methodes voor het oplossen van dit soort vergelijkingen. De reden hiervoor is te vinden in het artikel van Kantorovich 'Functional analysis and applied mathematics' dat in het Russisch verschijnt in 1948 en waarin onder andere numerieke technieken voor het oplossen van Fredholm-integraalvergelijkingen van de tweede soort worden besproken. Hij laat de belangrijkste methodes en de verkregen resultaten de revue passeren: ontaalde kern technieken waarin de integraalkern ge-



Links: J. Lyness, R. Jeltsch; midden: B. Ford, K. Atkinson; rechts: R. Jeltsch, A. Watson

schreven wordt als $K(s, t) = \sum \alpha_i(s)\beta_i(t)$, projectiemethodes (de welbekende Galerkin- en collocatietechnieken waarbij men de oplossing als een lineaire combinatie van basisfuncties schrijft waarbij men de coëfficiënten bepaalt door interpolatie of orthogonaliteitsvoorwaarden op te leggen), en de Nyström methode die op numerieke integratie steunt.

Kendall Atkinson (1940) is emeritus professor van de universiteit van Iowa. Hij is een autoriteit op het gebied van integraalvergelijkingen. Zijn onderzoek omvat ook radiositeitsvergelijkingen van computer graphics en multivariabele benadering, interpolatie en kwadratuur. Hij schreef verschillende boeken over numerieke analyse en integraalvergelijkingen.

Software en de invloed van hardware

De eerste lezing op de tweede dag werd gegeven door *Brian Ford*. Hij gaf een schets van het ontstaan en de ontwikkeling van de NAG (Numerical Algorithms Group) softwarebibliotheek. Het was de eerste verzameling van algemene routines die niet op een bepaald soort numerieke problemen was gericht, ook niet op een bepaald toepassingsgebied, en die ontwikkeld werd door medewerkers uit verschillende onderzoeksgroepen. De spreker begon aan een softwarebibliotheek omstreeks 1967, gestimuleerd door zijn contacten met J. Wilkinson en L. Fox. Het algemeen toepasbaar zijn, het goed uitgetest zijn en de degelijke documentatie zorgden voor een direct succes. De officiële start van de Algol en Fortran versies van de NAG bibliotheek is 13 mei 1970. De algoritmes werden gekozen in functie van de gebruiker op basis van stabiliteit, robuustheid, nauwkeurigheid, aanpasbaarheid, en snelheid (in die volgorde van belangrijkheid). Ford schetst de verdere ontwikkeling en de keuzes die gemaakt zijn bij de uitbouw van de NAG bibliotheek, en het samenspel tussen de numerieke analisten en de software ontwerpers. Hij besluit met een oproep naar de jongere onderzoekers om te werken aan de uitdaging van de nieuwe computerarchitecturen waar de multi-core hardware een volledig herdenken van de implementatie

van numerieke methodes noodzakelijk maakt wil men de reken capaciteit ervan optimaal gebruiken om snellere uitvoeringstijden te bekomen en dus grotere problemen te kunnen oplossen.

Dr. Brian Ford (1940) is oprichter van de NAG company en was er directeur tot aan zijn pensionering in 2004. Hij ontving een eredoctoraat van de universiteit van Bath en werd onderscheiden als OBE (officer of British Empire) voor zijn staat van verdienste. Onder zijn leiding heeft NAG zich ontwikkeld tot een respectabel bedrijf voor de productie van draagbare en robuuste software voor numerieke berekeningen.

Multi-core hardware

De concluderende oproep in de lezing van Brian Ford was meteen ook een van de belangrijkste elementen in de voordracht van *Jack Dongarra*. In een rijk gestoffeerde voordracht geeft hij de parallellen aan tussen de ontwikkelingen van de numerieke software, de hardware en de informaticawerktuigen die zich sinds het midden van de jaren 1940 hebben voorgedaan. Men evolueerde van scalaire architecturen waarop de eerste numerieke software ontwikkeld werd (Eispack, Linpack, BLAS '70) naar vector processoren ('70-'80) en parallelle algoritmen, MIMD machines (ScaLAPACK '90), en later naar SMP, CMP, DMP, enzovoort. De multi-core processoren zijn ondertussen een feit en de op ons aanstormende (r)evolutie is dat we naar een proliferatie gaan van multi-core architecturen waarbij men over honderden, duizenden en zelfs honderdduizenden cores zal beschikken. Het efficiënt gebruik van deze potentiële computercapaciteit waarbij men al deze processoren nuttig moet bezighouden zal een volledige herwerking vragen van de bestaande software.

Jack Dongarra (1950) is professor aan de universiteit van Tennessee waar hij leider is van het "Innovative Computing Laboratory". Hij is gespecialiseerd in lineaire algebra software en meer algemeen numerieke software op parallelle en andere geavanceerde architecturen. In 2004 kreeg hij de "IEEE Sid Fernbach Award" voor zijn werk in HPC (High Performance Computing). Hij heeft meegewerkt aan zowat alle belangrijke softwarepakketten op het gebied van

lineaire algebra: EISPACK, LINPACK, BLAS, LAPACK, ScaLAPACK, enzovoort

Benaderen en optimalisatie

Nog meer software in de voordracht van *Robert Plemmons*. De rode draad door dit verhaal is de aanwezigheid van niet-negativiteitsvoorwaarden bij het oplossen van allerlei numerieke problemen. Na een overzicht van historische methodes voor het niet negatieve kleinste-kwadraten (KK) probleem waarin men een lineair KK probleem wenst op te lossen met een vector van niet-negatieve onbekenden, werd het NMF probleem geïntroduceerd. Dat is het factoriseren van een matrix als een product van twee niet-negatieve matrices (NMF). Dit is nauw verbonden met data-analyse. Een andere techniek hiervoor is singuliere waarden-ontbinding en principal component analysis (PCA). Dit houdt echter geen rekening met de eis van niet-negativiteit en een aantal andere factoren. Rond de jaren '90 werd dan ICA (independent component analysis) geïntroduceerd gesteund op NMF. Dit kan men ook formuleren als BSS (blind source separation). Hierin meet men het gemengde resultaat van meerdere bronnen en men moet proberen de afzonderlijke bronnen te identificeren. Naar recenter onderzoek toe probeert men dit NMF probleem te veralgemenen tot hogere dimensies waar de matrix vervangen wordt door een tensor. De toepassingen van deze problemen zijn legio: achtergrondgeluiden filteren uit een akoestisch signaal, het filteren van e-mails, data mining, bronnen van atmosferische vervuiling detecteren, ruimteonderzoek SOI (space object identification), enzovoort

Robert J. Plemmons (1938) is Z. Smith Reynolds Professor aan de Wake Forest University, North Carolina. Zijn huidige onderzoek omvat computationele wiskunde met toepassingen in signaal- en beeldverwerking. Meer in het bijzonder met de hiervoor geschatte beperkingen van niet-negativiteit. Bij beelden worden bijvoorbeeld slechte focus gecorrigeerd, of worden atmosferische verstoringen weggewerkt. Hij publiceerde meer dan honderdvijftig artikelen en drie boeken over deze onderwerpen.

Niet-lineaire optimalisatie

Mike Powell gaf een overzicht van de opeenvolgende varianten die ontwikkeld werden voor niet-lineaire optimalisatie zonder beperkingen. Deze vormden een belangrijke verbetering op de methodes van vijftig jaar geleden toen men in wezen slechts beschikte over toegevoegde-gradiëntmethode, zuivere-Newton of een directe zoekmethode in de ruimte der variabelen. Bij de verbeterde methodes zal men de matrix van de tweede afgeleiden in elke stap proberen aan te passen zodat die niet telkens opnieuw moet berekend worden. Deze methodes convergeren zeer vlug en de onderliggende theorie verschilt erg van de overeenkomstige theorie voor de klassieke Newtonmethode. Daarna worden methodes belicht die gesteund zijn op de vorige en die een invloed gehad hebben op de technieken voor optimalisatieproblemen met beperkingen. Komen verder kort aan bod in dit overzicht: methodes zonder afgeleiden, grootschalige problemen, en de proliferatie van allerlei methodes als 'simulated annealing', genetische algoritmen, enz.

Michael J.D. Powell (1936) is professor aan de Cambridge universiteit. Hij is actief op meerdere gebieden. Zijn naam is verbonden aan de DFP (Davidon-Fletcher-Powell) methode, een quasi-Newtonmethode voor optimalisatie, en de methode van Powell, een variant op de Marquardt methode voor niet-lineaire kleinste-kwadratenproblemen. Maar hij is eveneens vermaard wegens zijn werk in benaderingstheorie. De Powell-Sabin splines zijn een begrip geworden en daarover wordt nog steeds onderzoek verricht bij subdivisieschema's voor de hiërarchische voorstelling van oppervlakken.

Geschiedenis van de numerieke wiskunde

Tot slot van het symposium geeft *Alistair Watson* een schets met persoonlijke toets van de evolutie van de numerieke wiskunde in Schotland. De numerieke wiskunde in de bre-

de zin volgens de definitie in het begin gegeven bestaat natuurlijk al eeuwen. Als je dit enger maakt en denkt aan het gebruik van digitale computers, dan is 1947 een goede keuze. Maar als je aan de meer abstracte combinatie numeriek-computers denkt, dan kan men teruggaan tot 1913 wanneer de artikels van Turing verschijnen. Daar begint dan ook de geschiedenis volgens Watson. In Schotland is dat met Whittaker, en later Aitken die in Edinburgh worden aangesteld. Er was vanaf 1946 een cursus 'Mathematical Laboratory' waar de berekeningen met handrekenmachines gebeurden. Pas in 1961 werd dit omgedoopt tot 'Numerical Analysis'. In datzelfde jaar beweerde Aitken nog geen behoefte te hebben aan een computer. Die kwam er dan toch in 1963. Daarna gaat het vrij snel. Meerdere centra ontstonden: St Andrews en later Dundee. De universiteit in Dundee is pas in 1967 onafhankelijk geworden van St Andrews en het zwaartepunt van numerieke analyse verschoof al gauw naar daar. Sinds 1971 worden er de tweejaarlijkse conferenties gehouden over numerieke analyse. De voorlopig laatste conferentie in Dundee ging door op 26-29 juni 2007. De laatste jaren is het zwaartepunt weer meer verschoven naar de universiteit van Strathclyde (Glasgow).

De focus van het werk van Alistair Watson (1942) is numerieke benadering en wat daarmee verband houdt. Dat kan theoretische aspecten bevatten, maar ook elementen van optimalisatie of lineaire algebra. Hij is FRSE (Fellow van de Royal Society of Edinburgh) en is vooral in brede kringen bekend wegens zijn betrokkenheid sinds 1985 bij de tweejaarlijkse Dundee conferenties over numerieke analyse.

Impact van hardware op software

Er was nog een twaalfde spreker voorzien: Gerard Alberts die echter door ziekte verhinderd

was. Zijn bijdrage zou nochtans een interessante component belichten over het wezen van de numerieke wiskunde. Wat in de jaren '30-'40 daaronder verstaan werd is het geheel van modellering, ontwerp van wiskundige oplossingsmethodes, het opstellen van een algoritme, en het implementeren op de computer. Deze globale aanpak is met de stijgende impact van de hardware op de software, het ontstaan van geavanceerde informaticawerktuigen en van de meer gespecialiseerde ingenieursdiscipline van het modelleren, gedeeltelijk uit elkaar gevallen in zich min of meer afzonderlijk ontwikkelende richtingen. Men kan zich daarom afvragen of de numerieke wiskunde nog wel dezelfde naam moet krijgen als zestig jaar geleden en of men dan nog hetzelfde daaronder verstaat.

Tenslotte het begin

Door de afwezigheid van de laatste spreker werd de gemiddelde leeftijd van de sprekers de hoogte ingeduwd. De jongste spreker was 57, de oudste 82, de gemiddelde leeftijd net boven de 68. Maar het is duidelijk dat ze allemaal nog steeds vol enthousiasme over hun vakgebied kunnen komen getuigen. Of de numerieke wiskunde nu zestig jaar of honderd jaar of eeuwen oud is, laten we in het midden. Het is in ieder geval te hopen dat het enthousiasme van deze Buona Vista Social Club afstraalt op de jongere generatie want we staan nog maar aan het begin van een uitgebreide waaier van uitdagingen die het resultaat zijn van het timmerwerk van de hele vorige generatie. De numerieke wiskunde staat nog maar in de steigers! 

Herbert Keller overleden De oudste spreker tijdens het symposium, Herbert Keller, is onverwacht overleden op 26 januari 2008.