

Het grote probleem van digitale leeromgevingen is het feit dat de feedback automatisch gegenereerd moet worden, waardoor deze vaak niet verder gaat dan de constatering dat iets goed of fout is, als het goede al ‘herkend’ wordt. Maar de nieuwste ontwikkelingen doen ons binnentreden in het tijdperk van de intelligente feedback. **Josje Lodder** beschrijft de stand van zaken.

Intelligente feedback

Inleiding

In het SURF-project Intelligente feedback is gewerkt aan de ontwikkeling van tools om intelligente feedback te genereren. In dit artikel vindt u een beschrijving van deze tools en het soort feedback, u leest over de gebruikerstesten die we tijdens het project uitvoerden, en over verdere ontwikkelingen en toepassingen.

Feedback op verschillende niveaus

Bij interactieve tools krijgt een student feedback op de antwoorden die hij of zij invoert. Bij veel bestaande tools is die feedback beperkt tot goed/fout. Als de student bijvoorbeeld de kwadratische vergelijking

$$x^2 - 8x + 15 = -1$$

op moet lossen, en als antwoord $x = 2$ of $x = 6$ geeft, zal zo'n tool aangeven dat dit fout is. Dit is niet erg informatief; de student weet dat het fout is, maar zal waarschijnlijk geen idee hebben wat er mis is gegaan.

Als het mogelijk is om stapsgewijs een oplossing in te voeren, en die ook per stap te laten corrigeren, kan feedback al informatiever zijn. In het voorbeeld zou de oplossing van de student er als volgt uit kunnen zien:

$$x^2 - 8x + 15 = -1$$

$$(x-3)(x-5) = -1$$

$$x-3 = -1, x-5 = 1$$

$$x = 2, x = 6$$

en zal de tool bij de derde regel uit deze uitwerking een kruisje zetten. De feedback is nu al wat waardevoller, de student weet waar de fout zit, maar waarom dit fout is, of hoe het dan wel moet, wordt niet uitgelegd.

Tools die in deze gevallen meer informatieve feedback geven, maken vaak gebruik van zogenaamde *buggy-rules*, een verzameling veelvoorkomende foute regels

of foute toepassingen van regels. In dit voorbeeld zou de feedback bij de derde regel kunnen zijn dat alleen in het geval $(x-a)(x-b) = 0$ volgt dat $x-a = 0$ of $x-b = 0$. In veel gevallen zal dit de student voldoende helpen om de opgave op te lossen. Maar eigenlijk zou je bij de ontbinding in de tweede regel al feedback verwachten: hoewel de tweede vergelijking equivalent is met de eerste, past de stap niet in een goede oplossingsstrategie. Een tool die (ook) strategische feedback geeft, kan bij de tweede regel al opmerken dat deze stap weliswaar niet fout is, maar dat het verstandiger is om de vergelijking eerst op nul te herleiden.

Een strategietaal

Een van de redenen dat feedback in e-tools zich tot voor kort voornamelijk beperkte tot de opties goed/fout, is dat het ondoenlijk is om per opgave voor elke mogelijke stap die een student zou kunnen doen, en voor elke daarbij mogelijke fout de feedback uit te schrijven. In het SURF-project Intelligente feedback¹, hebben we daarom gewerkt aan het automatisch genereren van feedback. We deden dit voor interactieve tools voor lineaire algebra, waarbij we ons vooral geconcentreerd hebben op de mogelijkheid om feedback op strategisch niveau te geven. Voor dit doel is een strategietaal ontwikkeld waarmee op een abstract niveau verschillende strategieën beschreven kunnen worden (Heeren et al., 2008a, 2008b). Deze strategietaal is zodanig opgezet dat hij in principe bruikbaar is voor allerlei soorten opgaven die via een gestructureerde manier in stappen opgelost moeten worden. Voor het gekozen domein (lineaire algebra, kwadratische vergelijkingen, ...) en de soort opgave moeten eerst de regels worden vastgelegd, en vervolgens beschrijft de strategie de oplossingsprocedure. Als voorbeeld bekijken we het oplossen van een stelsel lineaire vergelijkingen met behulp van Gauss-eliminatie, een strategie die we bij de lineaire algebraopgaven, waar we binnen het project aan gewerkt hebben, veel

vuldig toepassen. Het eerste deel van de oplosmethode, het opstellen van de uitgebreide matrix, laten we nu buiten beschouwing. Regels die op deze uitgebreide matrix toegepast mogen worden zijn het vermenigvuldigen van een rij met een constante ($\neq 0$), het een aantal ($\neq 0$) malen optellen of aftrekken van een rij van een andere rij, of het verwisselen van twee rijen.

Het eerste deel van een strategie, waarbij een driehoeksvorm of trapvorm moet worden bereikt, kan dan als volgt omschreven worden:

1. Zoek de meest linkse kolom die niet uit enkel nullen bestaat;
2. Zoek in deze kolom het bovenste element dat ongelijk aan nul is; dit element wordt de nieuwe pivot;
3. Als de pivot zich niet in de bovenste rij bevindt, verwissel dan eerste rij en pivotrij;
4. Deel alle elementen in deze rij door de waarde van de pivot;
5. Doe voor alle rijen onder de pivotrij het volgende: als in deze rij het element in de pivotkolom waarde a heeft, trek dan a maal de pivotrij van deze rij af;
6. Herhaal deze stappen toegepast op de submatrix die je krijgt door de eerste rij weg te laten.

In dit voorbeeld beschrijft de strategie een eenduidige manier om de opgave op te lossen, maar dat hoeft niet. Een minder strikte strategie zou bijvoorbeeld in de pivotkolom elke keuze voor een element ongelijk nul als pivot toe kunnen staan, en een strategie voor kwadratische vergelijkingen zou de keuze kunnen bieden tussen ontbinden of toepassing van de abc-formule.

Gebruik van strategietaal in een e-learning tool

De manier waarop de strategietaal in een e-learning tool gebruikt wordt, is nog volledig open. In het SURF-project hebben we aan twee verschillende implementaties gewerkt. Het LA-systeem² van de TU Delft is een gesloten systeem, waarbij een student per stap moet bedenken welke regel hij of zij toe wil passen. Het uitvoeren van de regel gebeurt door het systeem, de student vult zelf geen wiskundige expressies in (behalve eventueel een vermenigvuldigingsfactor). Het screenshot in figuur 1 geeft een indruk hoe dit werkt: links staat de opgave, onderaan heeft de student het gedeelte geselecteerd waarop hij of zij een bewerking toe wil passen (in dit geval de hele opgave). De mogelijke regels zijn dan in het menu onder 'Apply rule' te vinden (zie het onderste deel van de figuur). Met behulp van de strategie kan op elk moment een hint of de volgende stap gegenereerd worden. Wijkt de student af van de strategie, dan wordt hierover feedback gegeven.

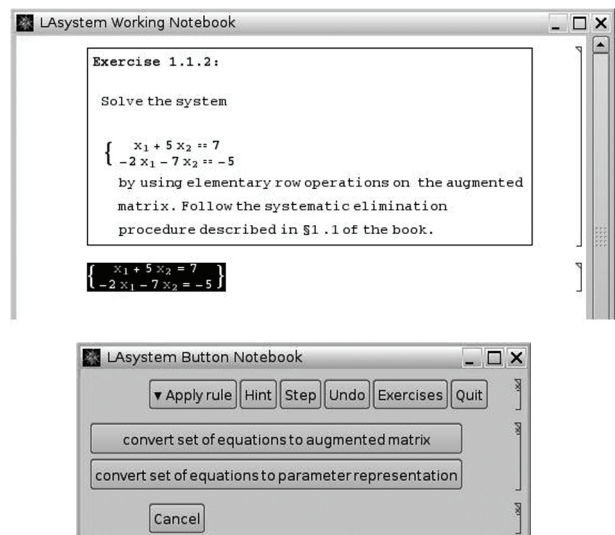


fig. 1 Een screenshot van het LA-systeem.

Bij de tweede implementatie is de door de OUNL ontwikkelde feedbackserver gekoppeld aan het MathDox systeem van de TU/e³. In dit systeem is de invoer open. De antwoorden die de student invoert, worden doorgestuurd naar de feedbackserver. Deze analyseert de antwoorden en genereert de feedback die vervolgens door MathDox aan de gebruiker wordt getoond.

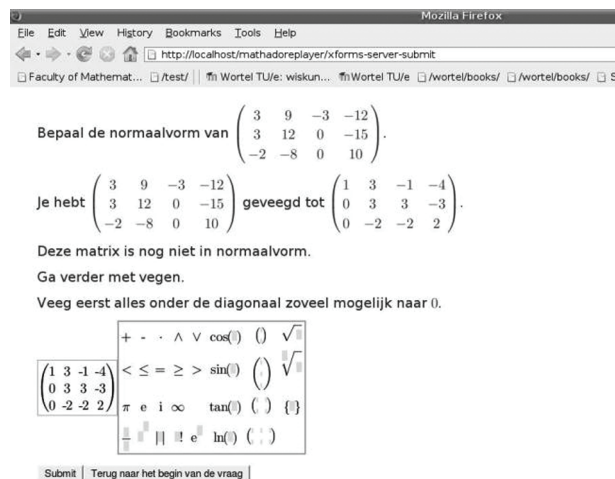


fig. 2 Een screenshot van het MathDox-systeem.

Omdat uit de eerste gebruikerstest bleek dat studenten er bij eenvoudige opgaven de voorkeur aan geven om de opgave op een kladblaadje uit te werken, wordt de keuze tussen het direct invoeren van het eindantwoord of het maken van de opgave in stapjes geboden. Een student die een verkeerd eindantwoord invoert, kan daarna alsnog de opgave in stapjes maken. In het screenshot van figuur 2 is de opgave boven aan de pagina nog eens herhaald, daarna volgt het antwoord van de student en de feedback. Het onderste deel is een werkveld waar de student de volgende stap uit kan voeren. Tussentijdens worden dus steeds geëvalueerd, en de student krijgt bijvoorbeeld feedback als een stap op zich correct is, maar nog geen normaalvorm is bereikt.

Gebruikerstesten

Gedurende de loop van het SURF-project zijn er drie experimenten uitgevoerd waarbij studenten werkten met deze systemen. Het eerste experiment was een exploratieve studie gericht op de studentpercepties van verschillende vormen van intelligent gegenereerde feedback. De resultaten van dit experiment zijn in een tweede experiment gebruikt om de effecten van feedback op het leren en de motivatie van de studenten te onderzoeken. Bij dit experiment werden twee groepen vergeleken; de eerste groep kreeg feedback per stap, de tweede groep alleen op het eindantwoord. Twee van de meest opvallende uitkomsten waren dat studenten die met de meest uitgebreide versie geoefend hadden, significant beter scoorden op *far transfer*-opgaven en veel meer gemotiveerd waren door de feedback (Corbalan et al., 2008). Met name het eerste resultaat was ook voor ons verrassend. Met de tool oefenen studenten in eerste instantie hun vaardigheden, maar kennelijk profiteren ze hier (ook) van bij het maken van complexere opgaven. Tijdens de derde test zijn het MathDox systeem en het Delftse LA-systeem met elkaar vergeleken. De studenten oordeelden redelijk positief over beide systemen, en de resultaten op de posttest ontliepen elkaar in het algemeen niet veel, wat opvallend is gezien de duidelijk verschillende opzet van de twee systemen (Jansen en Corbalan). Na afloop van het project is in Delft met het LA-systeem een kleine test gehouden: studenten die studeerden voor een herkansing konden een middag met het systeem oefenen. De resultaten hiervan vielen tegen. De studenten waren slecht voorbereid, en in dat geval wordt werken met dit systeem niet veel meer dan ‘knoppen drukken’.

Verdere toepassingen

Bij de Open Universiteit gebruiken we de feedbackservices bij een logicatool, waarbij studenten oefenen in het herschrijven van een logische formule in disjunctieve normaalvorm. Studenten krijgen feedback op verschillende niveaus:

- Op syntactisch niveau (bijvoorbeeld bij het ontbreken van een haakje).
- Op regelniveau: als een student een fout maakt in het toepassen van een regel, probeert het systeem te achterhalen welke fout er gemaakt is, en geeft hier feedback over (bijvoorbeeld wanneer de student bij het toepassen van de regel van De Morgan vergeet dat daarbij de conjunctie overgaat in een disjunctie).
- Op strategisch niveau: als de student afwijkt van de standaardstrategie die in de tool is opgenomen, krijgt de student een melding.

Ervaringen met deze tool leerden dat de kwaliteit van de gegenereerde feedback echt goed moet zijn: bij eerdere versies kregen studenten bijvoorbeeld soms de melding dat er een fout was gemaakt bij de toepassing van De Morgan, terwijl ze deze regel niet toepasten. In zo'n geval werd de foutmelding als hint opgevat, en probeerden de studenten in de volgende stap alsnog De Morgan toe te passen. Een te strikte standaardstrategie had tot gevolg dat studenten de strategiemeldingen negeren (Lodder et al., 2006, 2008).

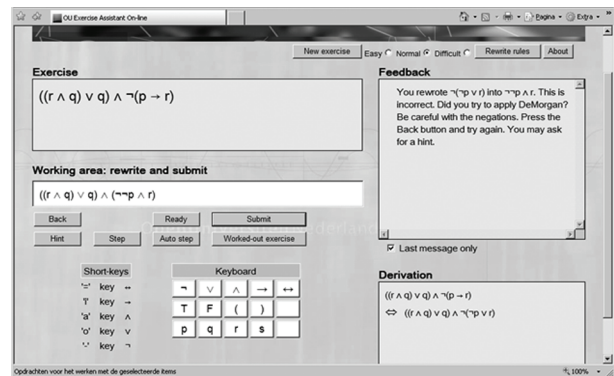


fig. 3 Screenshot Exercise assistant logica.

In het kader van het NKBW2-project⁴ wordt momenteel gewerkt aan het koppelen van de feedbackservices aan de applets van de DWO⁵; daarmee kunnen bijvoorbeeld kwadratische vergelijkingen zoals in het eerste voorbeeld worden aangepakt.

Ook internationaal wordt de feedbackservice ingezet. In het Mathbridge-project (een internationaal project over de aansluiting van het wiskundeonderwijs tussen middelbaar en hoger onderwijs) wordt via het web wiskundemateriaal aangeboden. Het gebruikte systeem (Active Math), biedt de mogelijkheid tot interactieve opgaven, en bij deze opgaven gebruiken we de feedbackservices om intelligente feedback te genereren.

Conclusie en open vragen

Met behulp van de feedbackservice is in dubbele zin intelligente feedback te leveren: de feedback wordt automatisch gegenereerd en kan toegespitst worden op de uitwerking van de student. Tools die gebruikmaken van deze feedback kunnen zinvol ingezet worden om bijvoorbeeld extra vaardigheden te trainen. Ook ondersteuning op het moment dat een docent niet beschikbaar is, bijvoorbeeld bij herkansingen of afstandsonderwijs, is een waardevolle toepassing. Hoeveel, wat voor en op welk moment feedback wordt aangeboden, hangt af van de uiteindelijke implementatie. Daarbij is nog veel variatie mogelijk: krijgt de student per stap feedback of pas aan het eind van een opgave? Kan er op elk moment om een hint

of voorbeelduitwerking gevraagd worden, of is dit beperkt? En zo zijn er nog meer opties mogelijk. Hoewel er wel wat onderzoek is gedaan naar effectiviteit van feedback, lijkt de vraag op welke manier dit soort feedback het meest efficiënt ingezet kan worden, nog open (Mory, 2003).

Josje Lodder
Open Universiteit Nederland
josje.lodder@ou.nl

Literatuur

- Corbalan, G., Paas, F. & Cuypers, H. (2008). *Overview of the results tests 1 and 2*, http://ideas.cs.uu.nl/wiki/index.php/Project_documents
- Heeren, B., Jeuring, J., Leeuwen, A. van, & Gerdes, A. (2008). Specifying strategies for exercises. In S. Autexier, J. Campbell, J. Rubio, V. Sorge, M. Suzuki & F. Wiedijk (Eds.), *AISC/Calculus/MKM 2008*, (pp. 430–445). Springer-Verlag.
- Heeren, B., & Jeuring, J. (2008). Recognizing strategies. In A. Middeldorp (Ed.), *Proceedings WRS 2008, Reduction Strategies in Rewriting and Programming*, 8th International Workshop.
- Jansen, E., & Corbalan, G. <http://ideas.cs.uu.nl/wiki/index.php/IDEAS:IntelligentFeedback>
- Lodder, J., Jeuring, J., & Passier, H. (2006). An interactive tool for manipulating logical formulae. In M. Manzano (Ed.), *Proceedings of the Second International Congress on Tools for Teaching Logic (SICTTL)*, (pp. 93–99), Salamanca.
- Lodder, J., Passier, H., & Stuurman, S. (2008). Using IDEAS in teaching logic. In *Proceedings of the International Congress computer science and software engineering (CSSE), Wubau, Vol 5* (pp. 553–557).
- Mory, E. H. (2003). Feedback research revisited. In D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research on educational communications and technology*, (pp. 745–783).

Noten

- [1] In het SURF-innovatieproject ‘Intelligente feedback’, van mei 2007–oktober 2008 participeerden prof. dr. ir. Erik Jansen, dr. Rick van der Meiden dr. W. Pasman van de Technische Universiteit Delft en dr. Peter Nieuwenhuizen (contact: f.w.jansen@tudelft.nl), dr. Hans Cuypers en dr. Jan Willem Knopper van de Technische Universiteit Eindhoven (contact: hansc@win.tue.nl) en dr. Gemma Corbalan, dr. Bastiaan Heeren, prof.dr. Johan Jeuring en drs. Josje Lodder van de Open Universiteit Nederland (contact: johanj@cs.uu.nl). Dit project is tot stand gekomen met steun van SURFfoundation, de organisatie die ICT-vernieuwingen in het hoger onderwijs en onderzoek initieert, regisseert en stimuleert door onder meer het financieren van projecten. Meer informatie over SURF is te vinden op de website (www.surf.nl).
- [2] <http://graphics.tudelft.nl/LAsystem> (alleen te gebruiken in combinatie met Mathematica)
- [3] <http://wortel.tue.nl/> (kijk bij het onderwerp lineaire algebra en matrixrekening)
- [4] Nationale kennisbank basisvaardigheden wiskunde, <http://www.nkbw.nl/>
- [5] Digitale wiskundeomgeving, <http://www.fi.uu.nl/dwo>
- [6] <http://www.math-bridge.org/mathbridge/index.php>