

Toepassing van neurale netwerken in de programmafase van nieuwbouwprojecten

Hajo Roosen

Een neurale netwerk lijkt nauwkeuriger de bouwkosten te kunnen voorspellen dan nu het geval is met traditionele begrotingsmethoden. Dat is de uitkomst van een proef die onlangs is gedaan. Voor toepassing op grotere schaal zijn echter meer invoergegevens nodig.

Van de bouwkostendeskundige wordt gevraagd een schatting te maken van de kosten in het stadium van schetsontwerp. Alle kostengroepen worden elk uitvoerig berekend, maar toch zijn er veelvuldig overschrijdingen van de bouwkosten. Bouwwerken voldoen evenmin vaak aan het oorspronkelijk Programma van Eisen.

Om tot oplossing van deze problemen te komen zijn in het verleden talloze pogingen ondernomen de berekeningsmethoden te verbeteren. Zelfs diepgaande onderzoeken kunnen tot op vandaag geen juiste voorstelling van de kosten in de fase van het Programma van Eisen opleveren.

De meest hanteerbare begrotingsmethoden zijn de regressiemethode en het extrapoleren van beschikbare data. Aan deze methodieken, waarin de kengetallen een belangrijke schakel vormen, kleven bezwaren. Ook de data die geen overeenkomst heeft met het nieuwe ontwerp wordt geëxtrapolerd en soms worden fouten sterk uitgegroot. Dan moet de data handmatig aangepast worden.

De opmerking die veel naar voren komt als deze onvolkomenheid optreedt is 'dat elk ontwerp uniek is'. Dit vormt de kern van de zaak: de vormfactoren zijn in het schetsontwerp te berekenen maar het probleem zit in de keuze van kengetallen.

In de industriesector, waar processen met veel variabelen voorkomen, wordt al sinds jaren beroep gedaan op expertisesystemen ofwel 'neurale netwerken' met lerend vermogen. Misschien dat die een nauwkeuriger kostenraming opleveren.

Wat zijn neurale netwerken?

Neurale netwerken zijn programma's die ontworpen zijn met de menselijke hersenen als voorbeeld. Ze bestaan uit een zeer uitgebreid netwerk van neuronen die met elkaar verbonden zijn. Een neurale netwerk is zelfstandiger dan de traditionele computerprogramma's.

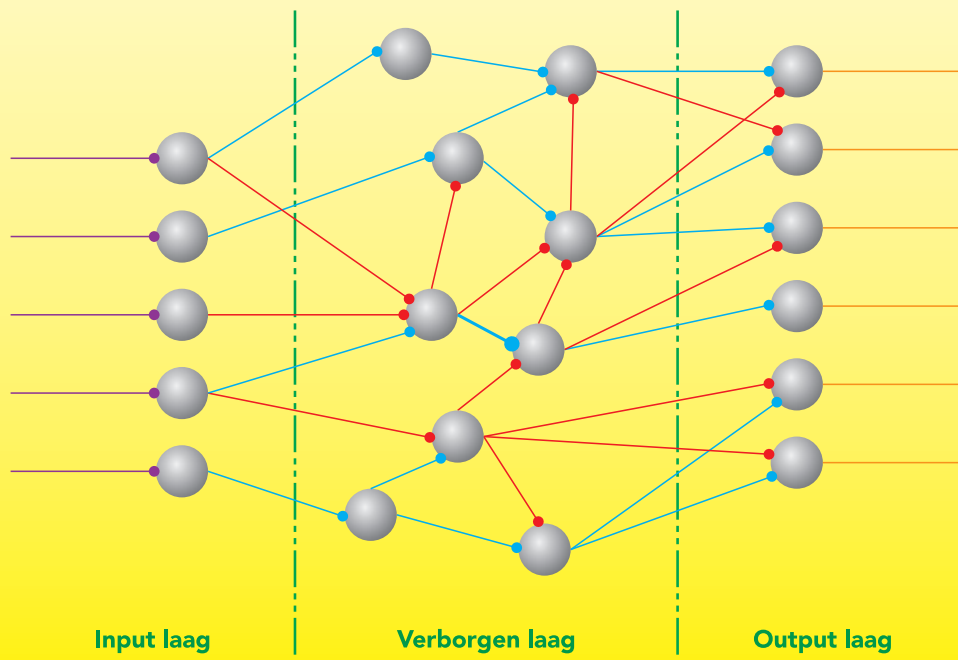
Een neurale netwerk bestaat uit slechts twee soorten bouwstenen: neuronen en verbindingen. Neuronen zijn een soort cellen die elk een eenvoudige signaalbewerking uitvoeren. Een neuron kan meerdere verschillende invoersignalen binnenkrijgen, die worden gecombineerd tot één uitvoersignaal. Dit ene uitvoersignaal kan worden gesplitst, (d.w.z. tegelijkertijd naar meerdere andere neuronen worden verzonden). De verbindingen zorgen voor het doorgeven van de signalen tussen de neuronen. Daarbij kan de sterkte van die signalen een verandering ondergaan. Naast de verbindingen tussen de neuronen zijn er ook verbindingen die de in- en uitvoer van en naar de buitenwereld verzorgen. Het is dan ook belangrijk een duidelijk onderscheid te maken tussen de in- en uitvoer van het hele netwerk en de in- en uitvoer van afzonderlijke neuronen in dat netwerk.

Door het herhaalde combineren, bewerken, splitsen en doorgeven van signalen wordt de invoer die het netwerk vanuit de buitenwereld ontvangt, omgezet in uitvoer, zoals figuur 1 op blz. 10 laat zien.

Een neuron in dit diagram is eigenlijk een simpele processor. Het doet maar twee dingen: eerst combineert het alle invoersignalen die het bin-



Hajo Roosen,
CBGennep
Bouwkosten-
management



1. Diagram van een eenvoudig neuraal netwerk

nenkrijgt, daarna geeft het aan de hand daarvan een uitvoersignaal af. Elk van deze beide activiteiten kan echter op zeer veel verschillende manieren worden uitgevoerd.

De simpelste manier om invoersignalen te combineren is door ze op te tellen. Maar men zou de invoersignalen ook kunnen vermenigvuldigen, waardoor ze elkaars effect versterken.

Gewoonlijk wordt een uitvoersignaal afgegeven als de invoer boven een bepaalde grens (de drempelwaarde) uitkomt. Die grens kan scherp zijn: er vlak onder doet het neuron nog niets, er vlak boven signaleert hij uit volle macht. Of de grens kan vloeiender verlopen: als het invoersignaal in de buurt van de drempelwaarde komt, begint het neuron al enigszins te reageren, en pas ruim boven de drempelwaarde wordt een maximaal uitvoersignaal gegeven.

Een andere mogelijkheid is dat een neuron niet alleen onder, maar ook boven een bepaalde invoerwaarde zwijgt. Het invoersignaal moet dus een zeer bepaalde grootte hebben, wil het neuron reageren. Ook hierbij kunnen de grenzen scherp of vloeiend zijn; bovendien kan het 'gevoelige gebied' breed of smal zijn, en bij kleine of juist bij grote invoerwaarden liggen.

Ten slotte ligt ook het sóort uitvoersignaal niet vast. Soms hebben neuronen maar twee mogelijkheden: wel of geen uitvoer. Bij 'wel uitvoer' ligt de grootte van het signaal vast. (Meestal wordt die grootte dan op 1 gesteld.) Maar men zou ook neuronen kunnen maken met drie mogelijkheden: 0, 1, en -1. Of neuronen waarvan het

uitvoersignaal elke willekeurige waarde kan hebben. Of elke positieve waarde. Of elke waarde tussen bepaalde grenzen.

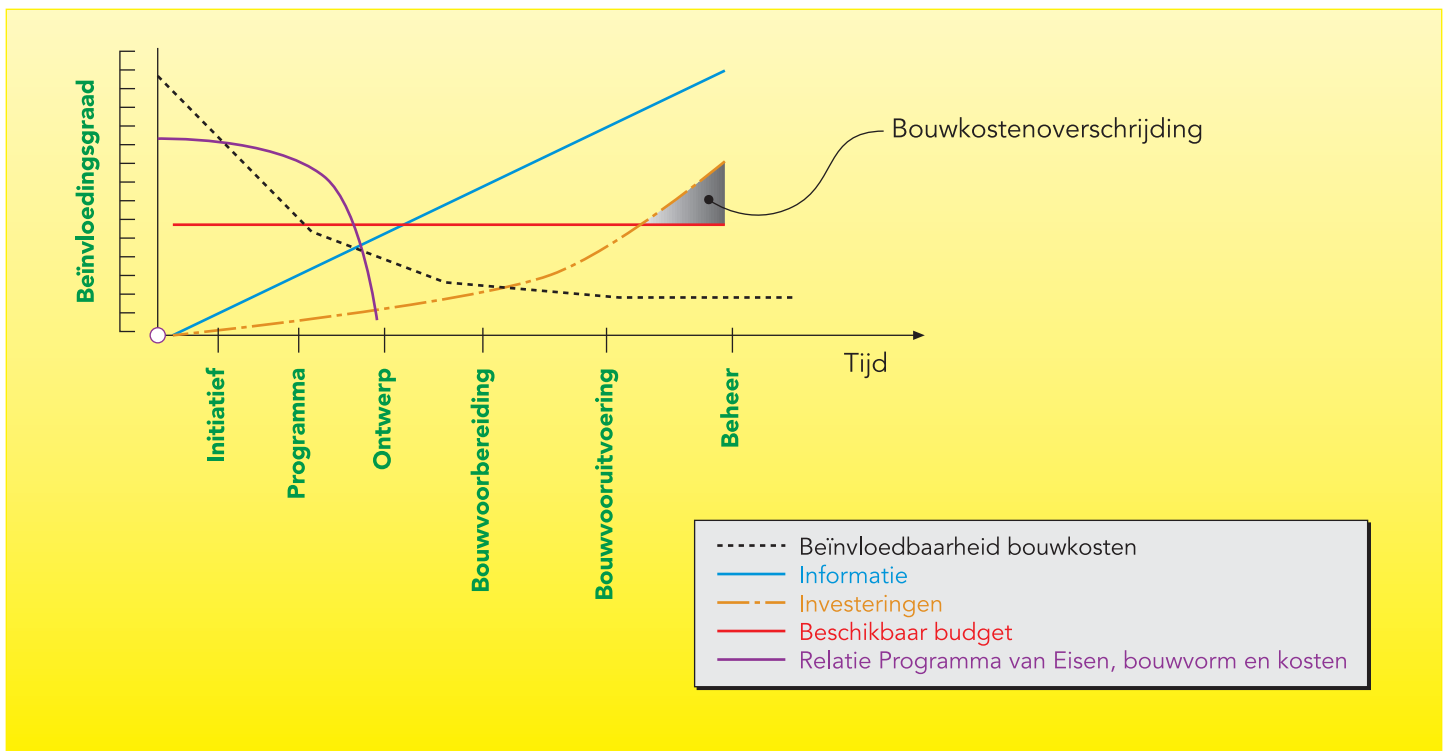
Er ontstaat een interactie tussen de neuronen onderling en hun aangegeven waarden. De ontstane interacties leiden tot een adaptief geheel, zodat er andere verbindingen ontstaan die elkaar versterken of verzwakken of weer verbroken kunnen worden. Hierdoor ontstaat een neuraal netwerk dat aan het 'trainen' is.

Elke keuze die men maakt uit deze ontwerp mogelijkheden voor afzonderlijke neuronen zal zijn invloed hebben op het gedrag van het netwerk als geheel.

Functioneren

Ieder neuron uit een bepaalde laag heeft verbinding met alle neuronen uit de laag ervoor en iedere verbinding heeft een bepaalde overdrachtsfunctie. De overdrachtsfunctie geeft het 'gewicht' van de connectie aan, hoe sterk het signaal via die connectie aankomt bij het doelneuron, en kan positief (stimulerend) of negatief (remmend) zijn. De som van alle ingangswaarden maal hun overdrachtsfunctie bepaalt de waarde van het neuron zelf.

Het 'trainen' van het netwerk gebeurt door het aanbieden van ingangswaarden met hun bijbehorende gewenste uitgangswaarden, en dan steeds door terugrekenen de overdrachtsfuncties bij te stellen. Meestal worden de overdrachtsfuncties geleidelijk bijgesteld, en bestaat een 'trainingsessie' uit vele (duizenden) iteraties.



2. Verloop budgetoverschrijding

Een tweede stap in het leerproces is het aanbieden van nieuwe patronen en het controleren van het resultaat dat dat oplevert. Op die manier kan bepaald worden in hoeverre het netwerk 'voller' is, en hoe betrouwbaar de resultaten zijn. Uiteindelijk is voor ieder paar neuronen (A,B) in het netwerk een overdrachtsfunctie gedefinieerd, in het eenvoudigste geval een simpele coëfficiënt, die aangeeft hoe het vuren van A invloed heeft op B. Coëfficiënten worden vaak genormaliseerd (dat wil zeggen dat ervoor gezorgd wordt dat ze in het hele netwerk ergens tussen -1 en 1 liggen).

Dataopbouw en projectgegevens

Voor een onderzoek naar de bruikbaarheid van een neurale netwerk heb ik gebruik gemaakt van de projectgegevens van Reed Business Information. Deze gegevens worden in een databasestructuur opgebouwd.

De projectanalyses geven een meer gedetailleerd beeld van het referentieproject. In een beknopte omschrijving van het bouwwerk zijn de specifieke eigenschappen en de bouwfysische kenmerken vermeld. De kosten in deze projectanalyses worden in het NL/SfB-systeem geclassificeerd. Een neurale netwerk zal met deze classificatie zeer goed kunnen 'leren'. Deze is namelijk gespecificeerd in duidelijke vormgroepen en bouwkundige vlakken, tevens is er in de laatste uitgave van deze classificatiemethode een specificatie van Ruimten bijgekomen evenals een nieuwe tabel Eigenschappen. In deze testcase wordt de

ruimtenummering gebruikt die onder architecten algemeen bekend is. De projectanalyses geven een goed beeld van de kosten van het bouwwerk. Om echter als referentieproject te kunnen fungeren zal altijd een weging van de daarbij behorende kostenkengetallen moeten plaatsvinden. Op dat moment benut de kostendeskundige zijn kennis van zaken en zijn intuïtie. De samenhang tussen de kengetallen en de vorm en inhoud van een gebouw gaat het voorstellingsvermogen van de mens te boven.

Indien er na de schetsfase aan de vorm van een gebouw wordt gesleuteld, heeft dit consequenties voor de kosten, menselijkerwijs kan dit niet doorgerekend worden zonder grote afwijkingen in het budget. De relaties zijn weergegeven in figuur 2. Op het moment dat er een budgetoverschrijding plaats vindt, zal er bezuinigd moeten worden. Om binnen het budget te blijven moet het Programma van Eisen worden versoberd.

Programma van eisen

Vormfactoren kunnen dermate complex zijn dat een kleine wijziging in het nuttige oppervlak (NO) niet meer direct vertaald kan worden naar een wijziging in de kosten. Bij nieuwbouw wordt bij het opstellen van het Programma van Eisen een voorzichtige aanname gedaan voor het gebruik en indeling van het nuttige oppervlak. In het Programma van Eisen wordt onder meer het nuttig oppervlak bepaald, door vierkante meters toe te wijzen aan verschillende ruimten. De vertaalslag naar een driedimensionaal raam-

werk is voor de kostendeskundige een lastige opgave, immers elk referentieproject heeft zijn beperkingen ten opzichte van het nieuw te maken bouwwerk.

De architect gaat aan het werk om met de gegevens die de opdrachtgever hem verstrekt, een eerste schets te maken.

Meestal maakt de opdrachtgever een keuze uit voorstellen en de architect werkt het gekozen ontwerp verder uit. Hierin schuilt het gevaar dat het Programma van Eisen in het gekozen ontwerp verwerkt wordt. Vormfactoren komen hierbij nog niet in beeld. Het volgende gevaar ontstaat op het moment dat van een definitief ontwerp de kosten duidelijk worden die dan al hoger blijken dan het budget. De opdrachtgever wordt dan al gedwongen om bezuinigingen door te voeren en het ontwerp te laten versoberen.

Vormfactoren

De door bouwkostendeskundigen gehanteerde vormfactoren in relatie tot de kosten is een juiste aanpak, immers de vorm bepaalt in grote lijnen de kosten. De samenhang tussen vormfactoren en ruimte-indeling vloeit voort uit een ruimteprogramma. Een gedegen methodiek om deze informatie naar voren te halen ontbreekt.

De tot nu toe gehanteerde vormfactoren en vierkante meters aan ruimtesoorten zijn niet voldoende als input in een neurale netwerk. De verhoudingsgetallen die gehanteerd worden, gaan uit van vlakken en er is geen verwijzing naar hoogten of een gedeelte ondergronds.

Een neurale netwerk toepassing

Voor een neurale netwerktoepassing zijn minimaal de volgende gegevens nodig: hoekpunten, type fundering, aanwezigheid kelders en souterains, daken. De input bestaat uit:

- functioneel nuttig oppervlak;
- type gebouw, fundering, aantal hoekpunten en type dak;
- ruimteindeling, in percentages van de totale ruimte;
- hoogte van het gebouw;
- bebouwd oppervlak.

De gegevens zijn in de SO-fase voldoende voor een neurale netwerk. De output bestaat dan uit een prijs per m² BVO en de gevelomtrek

De prijs per m² wordt door het netwerk bepaald met een nauwkeurigheid van 5% + of -.

De testversie vertoonde nog niet de vereiste nauwkeurigheid, door het gebrek aan voldoende

data. Hoe meer data hoe beter, zelfs data die onnauwkeurig is kan gebruikt worden, een neurale netwerk leert ook van fouten.

Het definiëren van de trainingsset

De trainingsset bestaat uit een groep informatiepatronen. Een patroon is een informatiegroep die aangeboden wordt aan de inputneuronen of ontvangen wordt van de outputneuronen. Netwerken leren het best als er een uitgebreide trainingsset aanwezig is. Het netwerk leert immers van voorbeelden en creëert een eigen logica voor het probleem.

De database bestaat uit 64 kolommen waarin zich getallen bevinden die een rekenkundige omschrijving geven van een nieuw gebouw. Om het neurale netwerk op een juiste manier te laten leren, moeten de input en de basiswaarden aangeduid worden.

De ruimten, uitgedrukt in een percentage BVO, vormen de basis van de input. Verder is het van belang dat alle gegevens uit het Programma van Eisen als inputdata worden ingevoerd.

Training/test en uitvoeringsfase

De eerste testen met de eerste inputs vormden een netwerk dat een zeer beperkt leervermogen had en zeer lang over het antwoord deed, in dit geval meer dan 6 dagen met verschillende parameters. Het testen is een zeer tijdrovende bezigheid, elke parameter die gewijzigd wordt, moet worden getraind totdat alle 'gegevens' correct zijn. Parameters moeten exact op elkaar afgestemd worden.

Een van de eerste problemen was dat het netwerk niet begreep dat kosten en vormfactoren samenhangen met de NL/Sfb-code voor de aanduiding van het type gebouw. Een andere aanduiding was nodig in de vorm van een '1' en '0' aanduiding voor elke hoofdcodering. Dit resulteerde in een extra kolommenspecificatie, acht stuks in totaal, één voor elke hoofdcode.

Na een paar trainingssessies werd duidelijk dat er verbetering optrad maar de voorspellingsgraad bleef steken op gemiddeld 70% van de testcijfers.

Een andere aanpak was nodig in de vorm van input verzamelen en de output beperken tot de meest noodzakelijke. Na hernieuwde testen werd het duidelijk dat de vormfactoren die als output opgenomen waren, verwarring veroorzaakten voor de resterende gegevens.

Bij het verwijderen van de vormfactoren verviel het netwerk in onnauwkeurige voorspellingen.

Op een of andere manier had het systeem toch een aantal vormfactoren als input nodig. Met experimenteren is een keuze gemaakt voor een aantal van de factoren.

Het netwerk had ook moeite met het onderscheiden van gebouwen van ongeveer dezelfde grootte en vorm maar met een hogere of lagere prijs. De 'factfile' moest aangepast worden met een kolom 'afwerking'. Na dagen van testen en meten is er een neurale netwerk ontstaan dat een voorspelling van de bouwkosten kan geven op basis van een NVO, ruimteschema uitgedrukt in percentages, bebouwd oppervlak, aantal hoekpunten van het gebouw en bouw fysische kenmerken.

Met de invoer van deze gegevens, die in het Programma van Eisen gedefinieerd worden, alsmede een jaarindex, kan een betere afstemming van een budget gerealiseerd worden. Door reeds eerder uitgevoerde projecten op te nemen in het trainingschema is er een netwerk ontstaan dat directe verbanden kan leggen tussen bijvoorbeeld de hoogte van het gebouw, met de gevellintrek en een specifieke ruimte-indeling.

Conclusie

Hoewel deze testversie een eerste aanzet is geweest, is het resultaat bijzonder goed te noemen. Toch is er mijns inziens nog een lange weg te gaan naar een volledig systeem. De voordelen zijn duidelijk aanwezig maar nog voor verbetering vatbaar. Om dat te bereiken is dringend behoefte aan meer data: hoe meer data hoe beter een neurale netwerk voorspellingen kan doen.
