Logica toegepast op de Nonogram

De twee uitersten in het gebruik van logische regels

Gerben Dreschler - 3926176

16 april 2018

Begeleider - Tomas Klos
2e beoordelaar - Rosalie Iemhoff

Bachelor Kunstmatige Intelligentie
Universiteit Utrecht
7.5 ECTS

Inhoudsopgave

1 Samenvatting

De nonogram, ook wel Japanse puzzel genoemd, is naast de sudoku ook een grote puzzel binnen de denksport. We kijken naar het verschil tussen de systematische en niet-systematische manier van oplossen, door middel van logische regels die vergelijkbaar zijn met de regels die mensen hanteren. Dit verschil wordt onderzocht vanwege de aanname dat mensen in sommige situaties niet-systematisch te werk gaan door zich bijvoorbeeld te laten afleiden door recent resultaat. Echter lijkt er wel een verschil te zijn, maar is er geen aantoonbaar, significant verschil te vinden tussen de twee.

2 Inleiding

Binnen de denksport bestaan er zowel spellen als puzzels. Aan de ene kant heb je de spellen zoals schaken of dammen, waarbij de ene persoon tegen de ander speelt. Aan de andere kant heb je puzzels zoals sudokus, waar je in je eentje tegen de klok speelt. Waar de één slechts puzzelt voor de lol, probeert de fanatieke puzzelaar zo snel mogelijk de puzzel op te lossen en zijn eigen record te breken. Net zoals het binnen de schaakwereld interessant is om te kijken naar de beste strategie om je tegenstander te verslaan, is het net zo interessant om te kijken naar de beste strategie voor het oplossen van bijvoorbeeld die sudoku. Nu wil ik voor deze scriptie het niet gaan hebben over de sudoku, maar over de nonogram, die ook wel een Japanse puzzel wordt genoemd. Dit is net als een sudoku een puzzel die je op vergelijkbare logische wijze moet oplossen, maar er anders uitziet.

Er is al veel geschreven over de nonogram, waaronder twee aan de Universiteit Utrecht, waarvan één binnen de studie Kuntmatige Intelligentie.[1, 2] De aanleiding voor velen om over de nonogram te schrijven, is omdat het behoort tot de verzameling problemen die NP-hard zijn, wat in 1996 is bewezen.[3] Dit wil zeggen dat een computerprogramma niet zomaar elke willekeurige nonogram kan oplossen binnen afzienbare tijd. De meeste artikelen over nonogrammen gaan dan ook over hoe verschillende soorten algoritmen presteren in een computermodel.

In het boek *Artificial Intelligence, A Modern Approach*[4] wordt er een onderscheid gemaakt in rationele en menselijke kunstmatige Intelligentie. Rationaliteit betekent in dit geval hoe een computer zou moeten denken. Zoals ik al eerder benoemde vallen de meeste artikelen over nonogrammen binnen deze categorie, omdat ze betrekking hebben tot het complexiteitsprobleem, bijvoorbeeld [5]. Wat in deze scriptie de focus krijgt, is de menselijke benadering, waar nog nauwelijks tot niets over is geschreven. Over de sudoku is daarentegen al wel het één en ander geschreven met betrekking tot het menselijk oplossen met behulp van een computermodel.[6]

In deze scriptie gaan we de basis leggen voor de zoektocht naar de beste menselijke strategie voor het oplossen van een nonogram. Mensen zijn over het algemeen vrij onvoorspelbaar in hun gedrag. Hetzelfde geldt voor de strategie van mensen om een nonogram op te lossen. In tegenstelling tot een goed geprogrammeerde computer-agent, past een mens vaak ook een regel toe die op dat moment spontaan in diegene op komt. We beperken de zoektocht naar de beste strategie door te kijken naar deze twee verschillende manieren van oplossen en die met elkaar te vergelijken. Deze twee manieren zal ik in het vervolg systematisch en niet-systematisch noemen. Het systematisch oplossen typeert zich door systematisch steeds elke regels toe te passen op iedere rij en kolom todat de nonogram is opgelost. Het niet-systematisch oplossen is in de basis hetzelfde, maar dan met een extra procedure tussendoor. Namelijk, iedere keer dat er een vakje wordt ingevuld wordt er direct gekeken naar de bijbehorende rij of kolom of daar ook iets ingevuld kan worden. Dit laatste symboliseert een mens die zich laat (af)leiden door recentelijk resultaat. Het verschil tussen systematisch en niet-systematisch oplossen kun je ook vergelijken met het verschil tussen respectievelijk *breadth-first search* en *depth-first search*. Dit is omdat het systematisch oplossen zoekt over de breedte van rijen en kolommen en niet-systematisch oplossen in de diepte zoekt nadat er een vakje wordt ingevuld.

Door middel van een model laten we zien welke strategie meer denkstappen vereist. Uiteraard gebruiken we hierbij slechts denkstappen die mensen ook zouden kunnen maken tijdens het oplossen. De concrete vraag die ik wil beantwoorden luidt; "Zit er een verschil in efficiëntie tussen het systematisch en niet-systematisch oplossen van een nonogram?". Met efficiëntie wordt dan bedoelt of de ene methode significant minder stappen nodig heeft om tot een oplossing te komen. In sectie 3 worden de basisbegrippen van een nonogram uitgelegd. Sectie 4 gaat over het oplossen van een nonogram aan de hand van logische regels, die worden uiteengezet. In sectie 5 worden de hypothese en onderzoeksmethodes besproken en in sectie 6 worden de resultaten van het onderzoek gepresenteerd en besproken. Ten slotte in sectie 7 wordt er een conclusie getrokken uit het geheel.

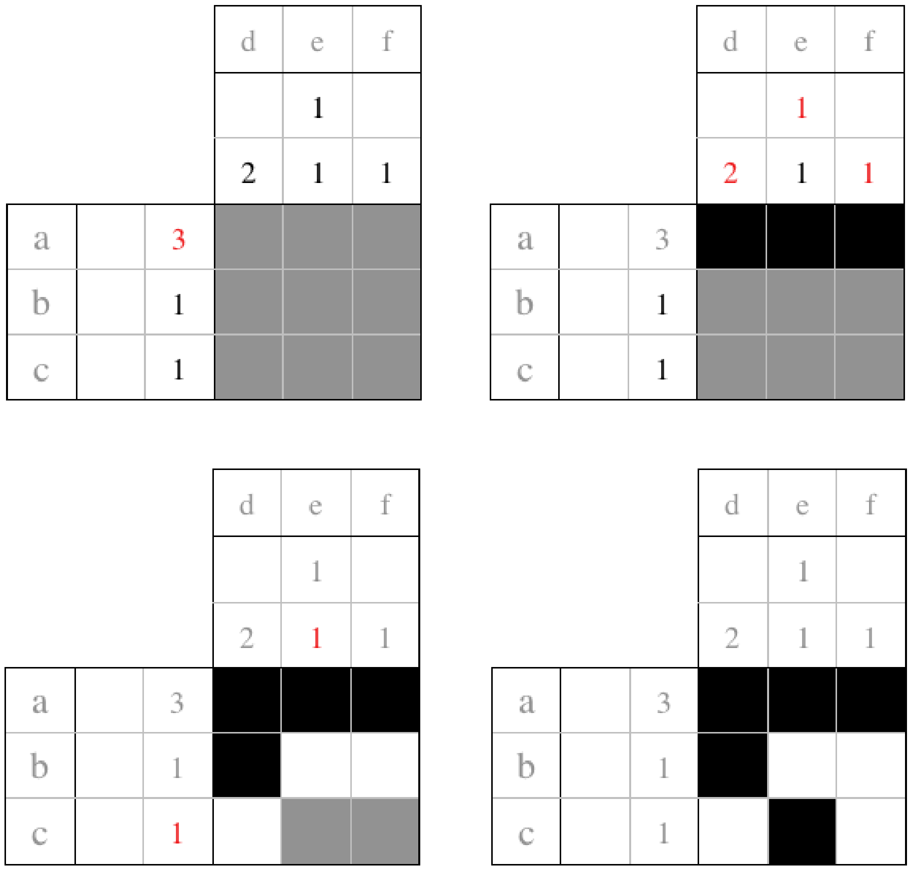
3 Uitleg Nonogram

Voordat we over gaan naar het meer technische gedeelte van dit geschreven werk, is het goed om duidelijk te hebben hoe het oplossen van een nonogram precies in zijn werk gaat. In deze sectie zal ik uitleggen wat een nonogram is en wat voor termen ik hierbij gebruik. In de volgende sectie leg ik uit welke regels er zijn om de nonogram op te lossen.

In de bijlage is goed te zien hoe een nonogram eruit ziet. Het is een raster van $n \times m$ vakjes, die n rijen en m kolommen bevat. En zo ook bevat elke rij en kolom respectievelijk m en n vakjes. Het uiteindelijke doel is om alle vakjes in het raster te voorzien van kleur. Ieder vakje kan drie verschillende kleuren hebben; zwart, wit of grijs. Kort gezegd betekent zwart dat het desbetreffende vakje is ingevuld, wit dat het vakje juist niet ingevuld is en grijs dat het nog niet zeker is of het vakje zwart of wit moet worden. Ieder vakje heeft dus vóór het oplossen van de puzzel de status grijs en na het oplossen de status zwart of wit. Links van iedere rij en boven iedere kolom lopen de vakjes door in vakjes met getallen. Deze vakjes horen niet bij het raster en worden hints genoemd. Iedere hint geeft aan hoeveel reeksen aan vakjes zwart moeten worden en hoe groot die reeksen moeten zijn. Met een reeks wordt bedoeld één of meedere aaneengesloten vakjes in een rij of kolom die zwart gekleurd zijn, waar geen grijze of witte vakjes tussen zitten. Bijvoorbeeld, als naast een rij de getallen 3, 1 en 2 staan, dan moeten er van links naar rechts drie reeksen worden ingevuld in die rij met de lengte van 3, 1 en 2 vakjes lang. Daarnaast moeten deze reeksen ook van elkaar gescheiden worden en zal daar tussen minstens één wit vakje moeten zitten.

In fig. 1 is een voorbeeld van een nonogram te zien. Linksboven in het figuur is de nonogram leeg. In (a) is de hint '3' meegegeven, daarbij is de lengte van de rij ook drie. Oftewel, we kunnen de hele rij invullen, zoals te zien is in de nonogram rechtsboven. Vervolgens kunnen we kijken naar de eerste hint van (d), (e) en (f). Aangezien ook het eerste vakje van de kolommen (d), (e) en

(f) zijn ingevuld, zullen de eerste hints van elk daar terchtkomen. Zodoende kunnen we een reeks van respectievelijk een reeks van lengte 2, 1 en 1 invullen. Daarnaast worden deze reeksen afgesloten door een wit vakje, zoals te zien is in de nonogram linksonder. Nu is de nonogram bijna ingevuld, zien we dat rijen (a) en (b) en kolommen (d) en (f) compleet zijn. Alleen in rij (c) en kolom (e) mist nog één ingevuld vakje, waaruit we kunnen concluderen dat op het kruispunt van die twee het vakje ingevuld gaat worden en dat ons laatst overgebleven vakje wit wordt. Het resultaat is de nonogram rechtsonder.



Figuur 1

4 Het Oplossen van een Nonogram

Het oplossen van een nonogram op een menselijke manier wordt gedaan aan de hand van logische regels. Alle regels hebben als eigenschap dat ze steeds worden toegepast op één rij of kolom tegelijk. De regels die in het model zijn geïmplementeerd, worden in deze sectie uiteengezet. Deze regels zijn voornamelijk gebaseerd op eigen ervaring, maar komen deels ook overeen met andere literatuur.[7, 8] De regels zijn op een paar verschillende manieren geclassificeerd. De eerste daarvan is het verschil tussen globaal en lokaal. Waar een globale regel kijkt naar een rij of kolom als geheel, kijkt een lokale regel naar individuele gevallen binnenin een rij of kolom. Het tweede verschil is tussen het invullen en controleren van een rij of kolom. Waar het invullen als doel heeft om te zoeken naar vakjes die (zwart) ingevuld kunnen worden, zoekt het controleren naar vakjes die nooit ingevuld zullen worden, die dus wit worden. Ten slotte zit er binnen het controleren nog een verschil tussen ruimten en hints. Bij controle op ruimten wordt er gekeken naar de grootte van gebieden van aaneengesloten grijze vakjes. Een ruimte wordt gedefinieerd als een reeks grijze vakjes, die worden afgesloten aan beide kanten door de rand of een wit vakje. Bij controle op hints wordt er juist aan de hand van hints gekeken naar vakjes.

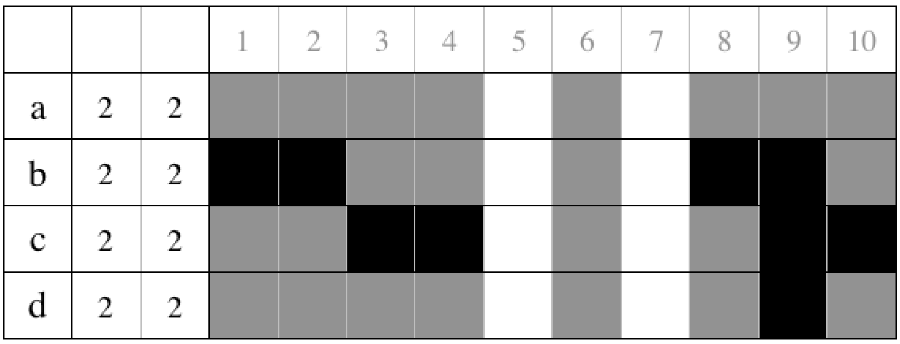
Elke regel wordt uitgelegd aan de hand van een voorbeeld. Sommige voorbeelden maken gebruik van het meest linker en rechter geval. Wat er met het meest linker geval wordt bedoeld is, vanuit de beginsituatie (a), gekeken naar de hints, de meest linker oplossing. In fig. 2 is dat te zien bij (b). Daar is een mogelijke oplossing te zien waarbij de ingevulde vakjes zoveel mogelijk links staan. Bij (c) is hetzelfde te zien maar dan in het meest rechter geval. Dit zal ook wel de links-rechts methode genoemd gaan worden.

In de voorbeelden waarin deze links-rechts methode wordt gehanteerd, staat (a) voor de beginsituatie, (b) en (c) respectievelijk voor het linker en rechter geval, en (d) voor het resultaat dat wordt teruggegeven. Bij voorbeelden waarin deze methode niet wordt toegepast is (a) de beginsituatie en (b) het resultaat.

4.1 Invullen

4.1.1 Globaal

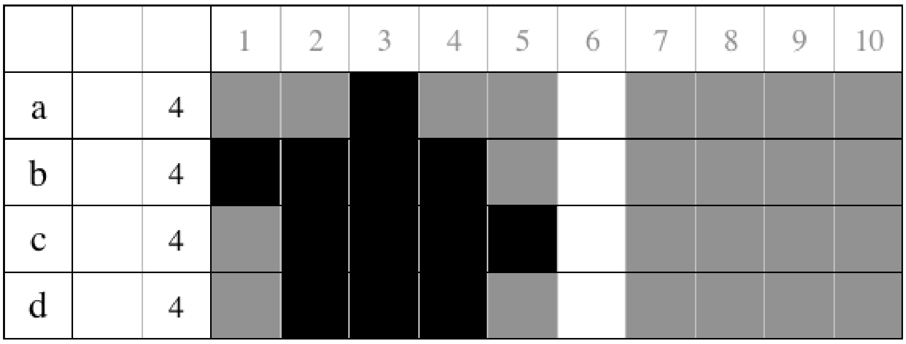
Deze regel kijkt naar het meest linker en rechter geval, waarbij het overlappende gedeelte ingevuld kan worden. Het is niet zo dat ieder overlappend vakje ingevuld kan worden. Alleen als het duidelijk is bij welke hint de desbetreffende vakjes horen, kan er worden ingevuld. In het voorbeeld van fig. 2 is te zien dat in het gebied [1,4] een reeks van twee moet komen die bij de eerste hint hoort. Echter vindt daar geen overlap plaats, dus wordt er niets ingevuld. In het gebied [8,10] is er wel overlap op 9, dus die wordt wel ingevuld.



Figuur 2

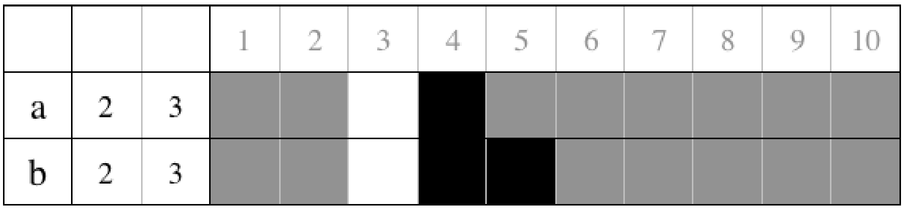
4.1.2 Lokaal

De eerste subprocedure van deze regel lijkt op die van het globale invullen, maar gebeurt alleen lokaal. Per reeds ingevulde reeks wordt er gekeken naar het meest linker en rechter geval. In fig. 3 is te zien dat de hint ‘4’ zowel past in het gebied [1,5] als in [7,10]. Echter is in (a) te zien dat vakje 3 al is ingevuld, dus de hint past alleen in het eerste gebied. En na de links-rechts methode kunnen we [2,4] invullen.



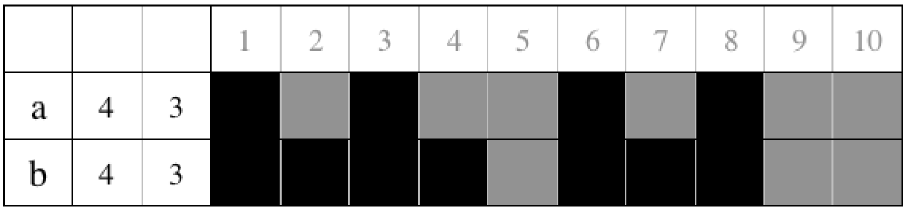
Figuur 3

Als tweede kunnen we ook invullen als er een situatie is waar het niet duidelijk is bij welke hint een vakje hoort, maar dat je wel weet dat de reeks wel minimaal een bepaalde lengte heeft. In fig. 4 is te zien dat vakje 4 zowel een reeks van lengte 2 kan worden of van 3. Wat we dus wel weten is dat het minimaal de lengte 2 gaat krijgen. Zodoende kunnen we vakje 5 invullen, omdat de reeks bij vakje 3 geblokkeerd wordt door een wit vakje.



Figuur 4

Ten slotte kunnen we ook invullen door twee losse reeksen samen te voegen. Dit kan in situaties waarin een reeks maar bij één hint kan horen en niet anders kan dan samenvoegen met een andere reeks. Of, er zijn twee of meerdere reeksen waarvan bekend is dat ze bij dezelfde hint horen, die ook worden samengevoegd. In fig. 5 gebeuren deze twee processen los van elkaar. Vakje 1 ligt tegen de rand aan en hoort bij hint ‘4’. Vakje 3 moet wel samenvoegen met vakje 1, want er is geen andere optie met lengte 4 vanuit vakje 1. Het tweede proces speelt zich af vanuit vakje 6, waar hint ‘3’ bij hoort. De reeks van lengte 3 kan niet gevormd worden in gebied [5,6], dus moet er worden samengevoegd met vakje 3 of 8. Vakje 3 is geen optie, omdat er anders een reeks van 4 ontstaat. Vakje 8 blijft dan over en is daarbij ook mogelijk, dus wordt vakje 7 ingevuld.

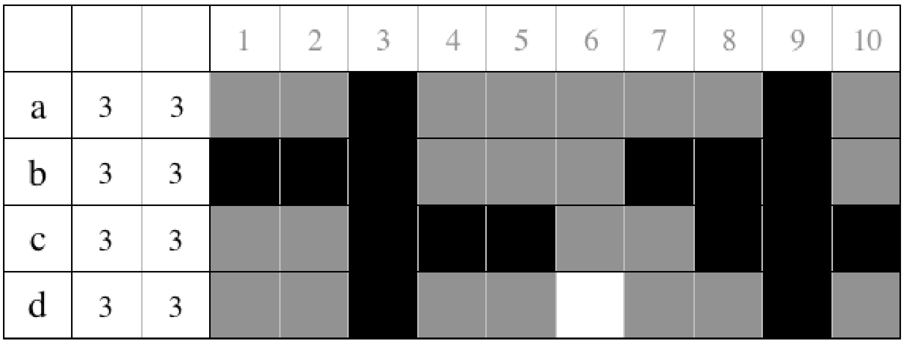


Figuur 5

4.2 Controle van ruimten

4.2.1 Globaal

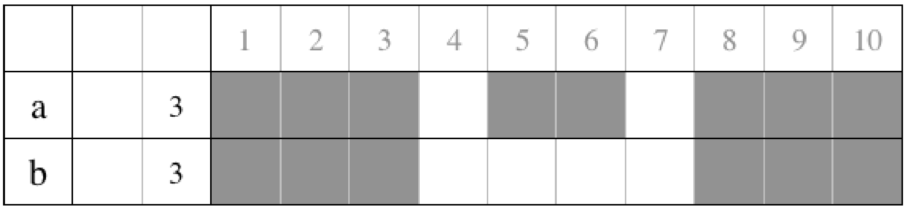
Deze regel maakt gebruik van de links-rechts methode, toegepast op alle reeds ingevulde reeksen. Ieder grijs vakje dat niet ingevuld wordt in zowel het linker als in het rechter geval, zal wit worden gekleurd. Deze conclusie kun je er alleen uit trekken als er per hint minstens één vakje reeds is ingevuld die bij die hint hoort. In fig. 6 is te zien in (a) dat vakje 3 en 9 al zijn ingevuld, die ook respectievelijk horen bij de eerste en tweede hint. Zodoende kan de links-rechts methode worden toegepast, waaruit blijkt dat vakje 6 nooit ingevuld zal worden en dus wit wordt gekleurd.



Figuur 6

4.2.2 Lokaal

Deze regel is op zoek naar alle ruimten die nooit gevuld gaan worden. Per ruimte wordt er gekeken naar de laagst, mogelijke hint voor die ruimte en of die hint in de ruimte past. Als het niet past, wordt de hele ruimte wit gekleurd. In fig. 7 is te zien dat er drie verschillende ruimten zijn, gebied [1,3], [5,6] en [8,10]. De laagst, mogelijke hint voor iedere ruimte is hint '3'. Al snel is te zien dat een reeks van lengte 3 niet past in de tweede ruimte, dus vakje 5 en 6 worden wit gekleurd.

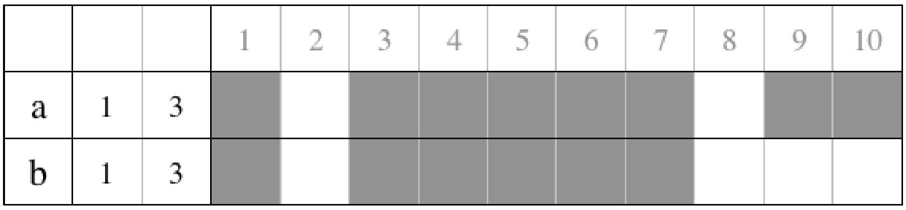


Figuur 7

4.3 Controle van hints

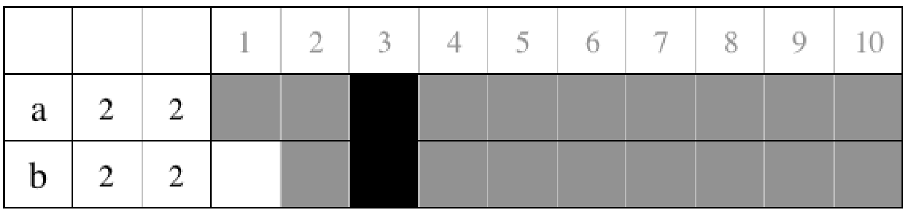
4.3.1 Globaal

De eerste subprocedure van deze regel kijkt zowel links als rechts naar de eerste hint die moet worden ingevuld. Als die hint al is ingevuld, kijkt die naar de volgende. Vanaf dat er een hint is die nog moet worden ingevuld en je komt aan bij een ruimte waar die hint niet past, dan wordt die ruimte wit gekleurd. in fig. 8 is te zien dat de linker kant begint met een ruimte van lengte 1. De eerste hint ‘1’ past in de ruimte, dus daar zal niets gebeuren. Aan de rechterkant daarentegen begint het met een ruimte van lengte 2 waar de eerste hint, vanaf die kant, ‘3’ is. Die hint past niet in die ruimte, dus zullen de vakjes 9 en 10 wit worden gekleurd.



Figuur 8

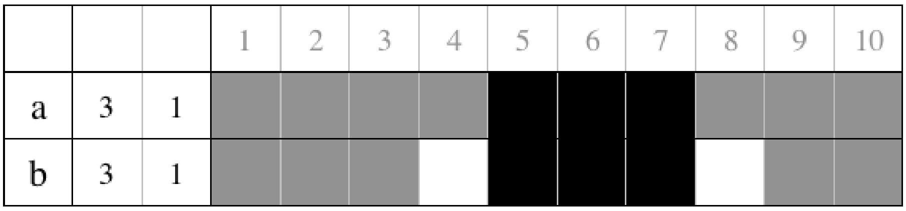
Het kan zijn dat de eerste ruimte die je tegenkomt niet afgesloten wordt door witte vakjes of randen, maar ook door een zwart vakje. In dat geval moet het desbetreffende vakje onderdeel zijn van de eerstvolgende hint. In fig. 9 is een dergelijk geval te zien. Vanaf de linkerkant zou de eerste hint ‘2’ precies in gebied [1,2] passen. Echter zou het dan samen met vakje 3 een reeks van lengte 3 worden en dat kan niet. In dit geval zal vakje 1 wit worden gekleurd en blijft vakje 2 hetzelfde, want het kan nog wel zo zijn dat vakje 2 en 3 samen de reeks van 2 gaan vormen.



Figuur 9

4.3.2 Lokaal

Deze regel kijkt per reeds ingevulde reeks of die al net zo groot is als de hint die erbij hoort. Als dat zo is, wordt die afgesloten door witte vakjes. Daarbij, als het het niet duidelijk is welke hints waarbij horen, maar de desbetreffende reeks is net zo lang als de grootste hint, dan hoort die hint daar blijkbaar bij en dan kan de reeks ook worden afgesloten. In fig. 10 is te zien dat er bij (a) een reeks is die net zo lang is als de grootste hint, namelijk 3. Hieruit volgt dat deze reeks afgesloten kan worden door witte vakjes. Vakjes 4 en 8 worden wit gekleurd.



Figuur 10

5 Methode en Hypothese

Eerder is al toegelicht dat het verschil tussen systematisch en niet-systematisch vooral zit in het wel of niet laten afleiden. Het vermoeden heerst dat je de puzzel met minder denkstappen oplost als je je minder laat afleiden door recent ingevulde vakjes en systematisch je logische regels herhaaldelijk toepast op alle rijen en kolommen. Oftewel, de hypothese luidt dat de niet-systematische methode meer significant meer stappen vereist dan het systematisch oplossen.

Om deze hypothese te kunnen toetsen, is er een model gemaakt dat op de twee verschillende manieren een nonogram kan oplossen met behulp van logische regels. Het systematisch oplossen zal steeds één regel toepassen op alle rijen en kolommen, waarna de volgende regel aan de beurt is. Als iedere regel is toegepast, zal dit dit proces zich herhalen totdat de nonogram is opgelost. De volgorde van de regels is hetzelfde als de volgorde waarin ze voorkomen in sectie 4. Het niet-systematisch oplossen is in de basis hetzelfde, maar zal na iedere invulling van een vakje (van grijs naar zwart of van grijs naar wit) ook nog kijken of er door die invulling meer kan worden ingevuld in de bijbehorende rij of kolom. Kort gezegd, waar de eerste manier systematisch alle regels toepast, laat de tweede manier zich ook leiden door recent geboekt resultaat.

Vervolgens worden de experimenten uitgevoerd. Dit gebeurt door beide versies van het model uit te voeren op vijf verschillende nonogrammen en bij te houden hoeveel stappen hiervoor nodig waren. Daarna kunnen de resultaten worden vergeleken om te kijken of daar een significant verschil tussen zit. De gebruikte nonogrammen verschillen voornamelijk van elkaar in grootte en moeilijkheid. Daarnaast variëren ook de eigenschappen van de hints van elkaar. Door variatie aan te brengen, beperken we de kans dat een bepaalde combinatie van eigenschappen een grote invloed heeft op de resultaten als geheel. Ook heeft elke nonogram slechts één mogelijke oplossing. De moeilijkheid is gebaseerd op de definitie die in [9] is gegeven. De moeilijkheden die berekend zijn voor mijn gebruikte nonogrammen kunnen iets afwijken van de werkelijke moeilijkheid, omdat deze berekening sterk afhankelijk is van de prestatie van het model dat wordt gebruikt.

Twee verschillende waarden als output van het model kunnen niet zomaar met elkaar worden vergeleken, omdat beide getallen op zichzelf geen standaardafwijking bevatten. Om deze reden wordt de niet-systematische versie van het model drie keer uitgevoerd met drie verschillende volgordes van regels. Door deze variatie aan te brengen, kan er een standaardafwijking worden berekend en kan het gemiddelde resultaat vergeleken worden met de waarde van de systematische versie van het model.

De stappen die worden bijgehouden worden geteld met behulp van drie verschillende tellers. De eerste teller houdt bij hoe vaak er een reeks vakjes wit of zwart wordt gemaakt. Het is dus niet zo dat de teller omhoog gaat per vakje dat gekleurd wordt, anders zou de teller altijd zo groot zijn als het aantal vakjes in de nonogram. De tweede teller houdt bij hoe vaak er geteld moet worden bij het oplossen. Bijvoorbeeld, als er geteld moet worden hoe groot ergens een reeks zwarte vakjes is, dan dan deze teller per tel eentje omhoog gaan. De derde en laatste teller gaat omhoog iedere keer als de mogelijke hints van een of meerdere vakjes wordt aangepast. Kort toegelicht, dit gebeurt iedere keer als het model ziet dat een of meerdere vakjes niet meer bij een bepaalde hint kunnen horen. Uiteindelijk zullen deze onafhankelijke tellers van verschillende nonogrammen met elkaar vergeleken worden.

En om ten slotte nog even terug te koppelen naar mijn hypothese. Ik verwacht dus dat er bij het systematisch oplossen in alle gevallen significant minder stappen nodig zijn om tot de oplossing te komen. Hierbij denk ik ook dat dit bij elk van de drie verschillende soorten stappen het geval zal zijn.

6 Experimentele Resultaten en Discussie

In fig. 11 zijn de resultaten te vinden van het onderzoek. De rijen 1 tot en met 5 staan voor de vijf verschillende nonogrammen die zijn gebruikt. Binnen elke rij worden de drie verschillende soorten stappen van elkaar gescheiden door de letter I (invullen), T (tellen) en H (toekennen van hints). In de eerste vier kolommen staan de outputs van de verschillende versies van het model, waar S de systematische versie is en NS_1, NS_2 en NS_3 de drie van de niet-systematische. $\overline{NS}$ is het gemiddelde van deze drie. δ staat voor de standaardafwijking die berekend kan worden met behulp van de nieuw verkregen $\overline{NS}$. Vervolgens kunnen met al deze gegevens $P(\overline{NS} \leq S)$ uitrekenen. Als een waarde van P zich onder het significantieniveau $\alpha = 0.01$ bevindt, kunnen we concluderen dat de desbetreffende teller van de bijbehorende nonogram significant meer stappen bevat in de niet-systematische versie dan in de wél systematische versie.

In fig. 12 is een overzicht te zien van alle nonogrammen met bijbehorende eigenschappen. De eerste twee kolommen gaan over de nonogram zelf, namelijk de grootte en moeilijkheid. De laatste vijf kolommen bevatten informatie over de hints. Van links naar rechts geven ze weer; het totaal aantal hints, het aantal hints per rij of kolom, de som van alle hints (van alle rijen óf kolommen), de gemiddelde grootte van een hint en het percentage (zwart) in te vullen vakjes ten opzichte van het totaal aantal vakjes.

#		S	NS_1	NS_2	NS_3	$\overline{NS}$	δ	$P(\overline{NS} \leq S)$
1	I	6	8	8	8	8	0	0
	T	54	97	97	99	97.67	0.94	0
	H	3	3	3	3	3	0	1
2	I	126	137	130	134	133.67	2.87	0.0038
	T	4223	6111	6179	5979	6089.67	83.03	0
	H	86	90	92	97	93	2.94	0.0086
3	I	199	201	198	200	199.67	1.25	0.296
	T	17078	16618	17166	16937	16907	224.72	0.7767
	H	115	109	107	101	105.67	3.40	0.997
4	I	218	237	231	238	235.33	3.09	0
	T	14861	19920	19602	18101	19207.67	793.23	0
	H	156	163	160	172	165	5.10	0.0388
5	I	299	299	282	311	297.33	11.90	0.5558
	T	15693	28232	28259	27229	27906.67	479.31	0
	H	231	224	227	261	237.33	16.78	0.353

Figuur 11: Resultaten

Nonogram			Hints				
#	*Grootte*	*Moeilijkheid*	*Aantal*	$Aantal_{gem}$	*Som*	Som_{gem}	*Dichtheid*(%)
1	4×3	2	11	1.57	7	1.40	58.3
2	15×15	10	79	2.63	107	2.74	47.6
3	15×20	30	109	3.11	136	2.52	45.3
4	20×20	22	168	4.20	187	2.23	46.8
5	25×25	14	139	2.78	270	3.91	43.2

Figuur 12: Eigenschappen

Bij het invullen (I) zijn bij nonogram 1, 2 en 4 een significant verschil te zien. Dit is geen overduidelijke meerderheid, dus over het algemeen is er geen significant verschil te zien. Bij het tellen (T) is er wel een overtuigende meerderheid te zien in het aantal nonogrammen dat een significant verschil vertoont. Dit is nog steeds geen absoluut verschil, maar over het algemeen kunnen we wel zien dat er bij relatief makkelijke nonogrammen een significant verschil bestaat. Bij het toekennen van hints (H) is duidelijk te zien dat er geen significant verschil is. Alleen bij nonogram 2 is het verschil er nét wel, maar dat is zeker niet voldoende.

Tijdens het analyseren van de resultaten was het duidelijk te merken dat veel factoren lijken mee te spelen in het geheel. Vooral de resultaten van nonogram 3 vallen erg op, omdat daar de niet-systematische versie zelfs iets beter scoort dan de systematische, wat niet te verwachten was als je naar de rest van de resultaten kijkt. Dat zou te maken kunnen hebben aan de hoge moeilijkheid van de nonogram, maar er is binnen dit onderzoek niet gekeken naar een vergelijkbare nonogram om daar iets over te kunnen zeggen. Het aantal vergelijkbare nonogrammen had dus meer mogen zijn. Ook was het zinvol geweest om nog grotere en/of moeilijkere nonogrammen te gebruiken. Echter was het model niet krachtig genoeg om nonogrammen groter dan nonogram 5 op te lossen. Voor de rest lijkt het erop dat de eigenschappen die horen bij de hints niet veel invloed hebben gehad op de resultaten.

7 Conclusie en Toekomstig Werk

Uit de resultaten blijkt dat de meeste P-waarden zich onder het significantieniveau bevinden, waarvan, over het algemeen, gezegd kan worden dat er een significant verschil te zien is. Alleen is dit verschil is niet overal aanwezig. De hypothese kan dus aan de ene kant niet verworpen worden, maar aan de andere kant kunnen we ook niet bevestigen dat de hypothese waar onder alle omstandigheden.

Wel heeft dit onderzoek veel vragen opgeroepen. Aan de resultaten is te zien dat er mogelijk allerlei interessante verbanden te vinden zijn binnen het kader van dit onderzoek. Denk aan de grootte of moeilijkheid van een nonogram, maar ook aan de volgorde van de logische regels die je toepast.

Daarnaast wil je uiteindelijk iets kunnen zeggen over het oplossen van een nonogram op een menselijke manier. Voor dit onderzoek is er niet naar de mens zelf gekeken, maar het zou goed zijn als dat ook zou gebeuren. Op die manier zou je wat preciezer kunnen zeggen in hoeverre en op welke manier afleiding een rol heeft binnen het oplossen.

Referenties

[1] R. van der Heiden (2013). *Nonogrammen, Oplossen met DFS en Logische regels.*

[2] T. de Jong (2016). *The concept and automatic generation of the Curved Nonogram puzzle.*

[3] N. Ueda, T. Nagao (1996). *NP-completeness results for Nonogram via parsimonious re- ductions.*

[4] S. Russell, P. Norvig (2010). *Artificial Intelligence, A Modern Approach, Third Edition.* Pearson Education lnc., Upper Saddle River, New Jersey.

[5] W.A. Wiggers (2004). *A comparison of a genetic algorithm and a depth first search algorithm applied to Japanese nonograms.* Twente student conference on IT.

[6] R. Pelanek, (2011). *Human Problem Solving: Sudoku Case Study.*

[7] S. Salcedo-Sanz, E.G. Ortiz-García, Á.M. Pérez-Bellido, J.A. Portilla-Figueras, X. Yao (2007). *Solving Japanese puzzles with heuristics.* In

Proceedings IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games (CIG), pages 224-231.

[8] C.-H. Yu, H.-L. Lee, L.-H. Chen (2011). *An efficient algorithm for solving nonograms.* Applied Intelligence, vol. 35, no. 1, pp. 18-31.

[9] K.J. Batenburg, W.A. Kosters (2012). *Nonograms.* Newsletter of the Dutch Organization for Theoretical Computer Science (NVTI), Vol. 16, pp. 49-62.

[10] Denksport (2017). *Denksport, Japanse puzzels* 3**, nr. 122.* Keesing Nederland BV Amsterdam.

A Gebruikte Nonogrammen

Nonogrammen 2 t/m 5 zijn afkomstig van een puzzelboekje van Denksport.[10]

1. "Niet te moeilijk"

		1	1	1
		1	2	1
	1			
1	1			
	1			
	3			

2. "Potsierlijk"

								1	2	2									
							1	2	1	1		5		2	3	2	2		
					3	3	1	1	2	1	9	1	10	3	3	1	1	1	1
					2	4	3	2	5	6	2	1	2	5	2	1	1	3	3
				3															
			4	5															
	2	2	3	1															
		4	2	1															
1	2	1	1	4															
		2	3	2															
			3	9															
		2	6	1															
			3	3															
			2	8															
			1	8															
			3	2															
		2	1	1															
			3	2															
				4															

3. “Vet lekker”

												2				4			
		3	3			4				2	2	2	3	2	3	1	4		
	4	2	2	3	8	3	3	2	2	1	1	3	4	3	1	2	2	5	
6	2	1	2	4	2	1	4	1	2	1	3	1	1	2	4	2	1	3	7

						9
						11
					5	4
					5	3
				2	1	5
		2	1	1	1	3
			1	1	3	2
	1	2	1	1	1	2
		3	1	2	1	3
1	2	2	1	2	2	1
1	2	1	1	2	2	1
		1	2	5	2	1
			1	4	5	2
			2	2	2	2
					3	3

4. “Frisse wind”

						1							1						
				1	1	1	1	1				1	1						
				1	2	2	1	1	1		1	2	1	2				1	1
		2	2	3	4	4	2	1	1	1	4	1	1	2	2		1	1	1
		1	2	1	1	1	2	6	6	5	6	4	2	1	1	3	7	1	1
	3	2	5	1	1	1	2	2	5	4	1	1	1	2	3	3	1	1	1
7	3	2	2	1	1	1	4	1	1	4	1	1	1	2	2	1	1	1	1

						8
				2	2	2
			2	6	2	1
		2	1	3	2	2
			1	2	5	1
			4	2	3	4
		1	2	4	2	1
				1	2	1
				1	13	1
			1	10	1	1
	1	5	1	4	1	1
2	1	2	1	3	1	2
	1	2	1	4	1	2
		2	3	1	3	2
			2	1	2	3
				2	1	2
					8	4
						4
					1	1
						10

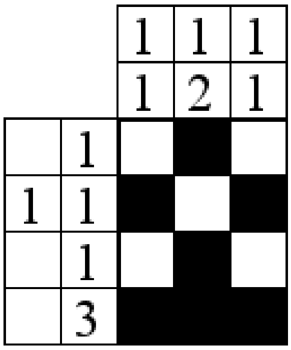
5. “Zoetsappig”

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
				2															3					
	3	5	3	1		2	2	1						2	2	1	2	3	6			4	6	
2	5	3	2	5	2	3	1	3	3	3	4	7	7	5	4	4	4	4	1	3	3	4	1	
9	4	2	2	2	10	9	8	7	5	5	3	3	2	2	2	2	3	4	5	16	14	5	5	10

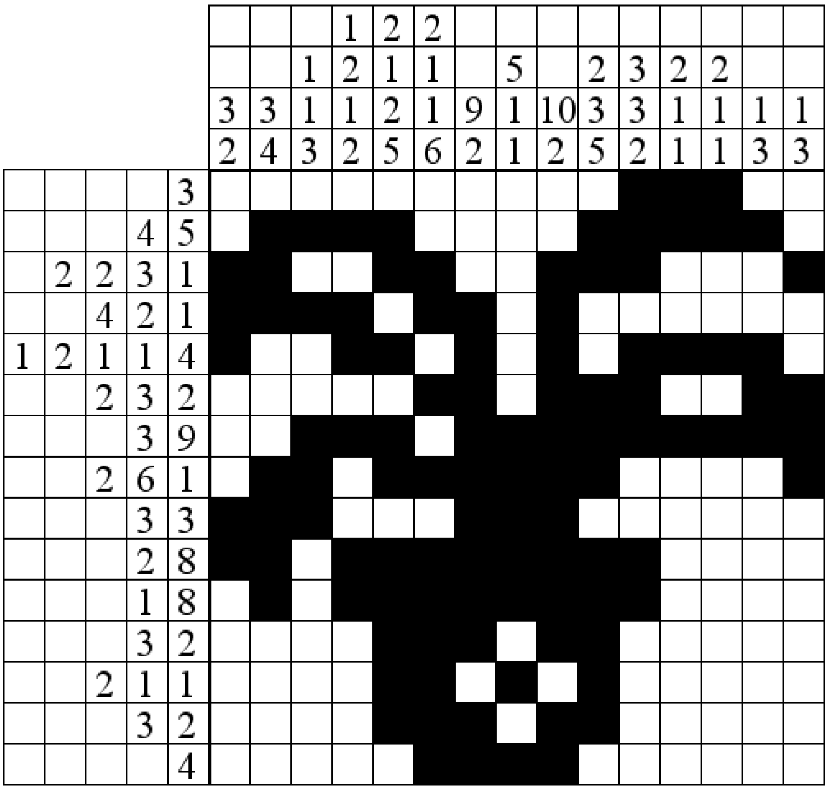
			2	5
			8	3
			3	7
				14
2	2	2	3	5
	2	3	3	5
	2	2	5	5
	2	2	6	4
	2	3	7	2
	1	4	7	3
1	1	1	5	2
	3	2	4	2
	2	4	3	2
	5	1	4	1
	3	2	3	1
			2	5
		3	3	1
		3	2	2
			3	6
			4	4
			4	5
			4	6
			5	6
				13
				11

B Gebruikte Nonogrammen (Met Oplossing)

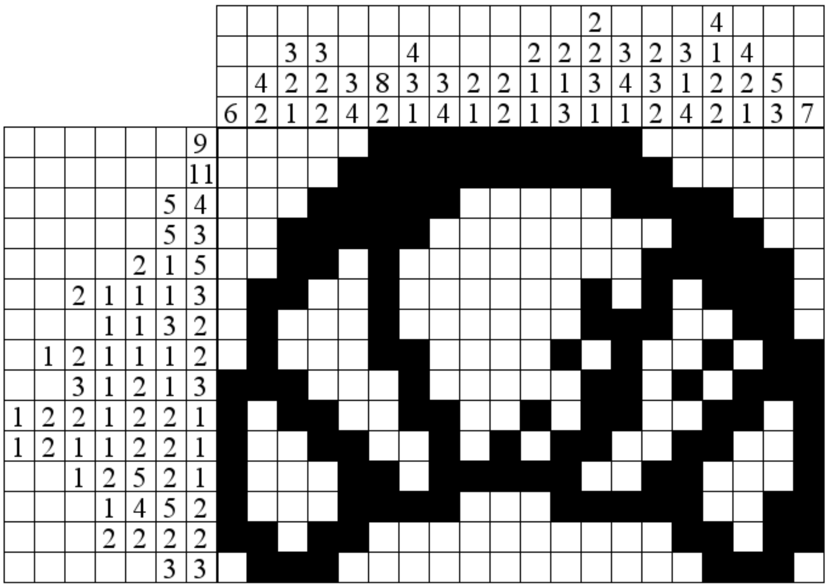
1. Simpel



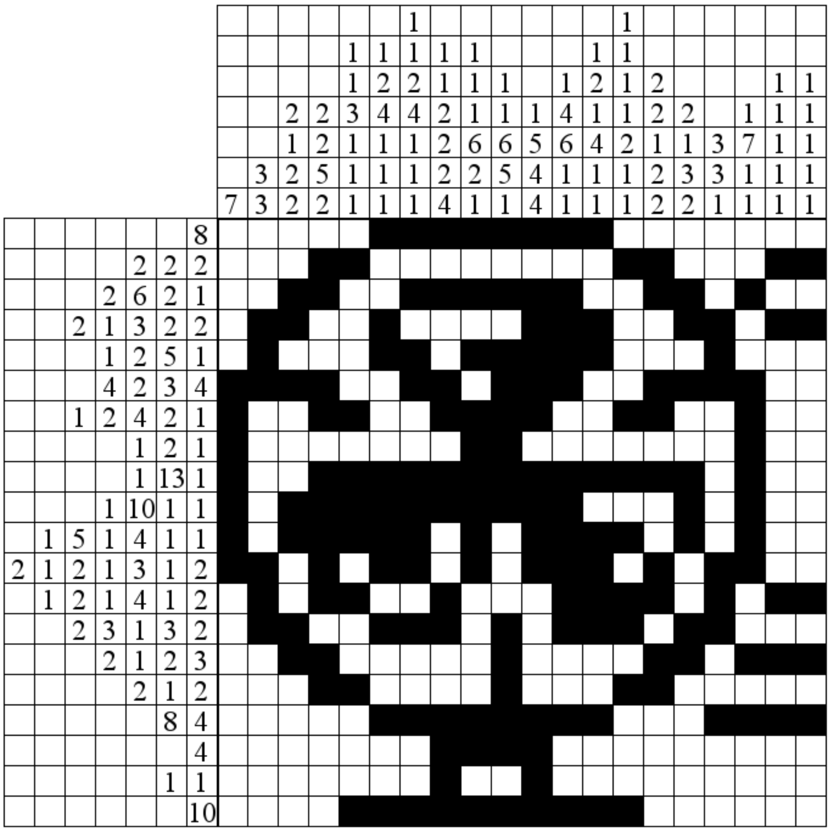
2. Plant



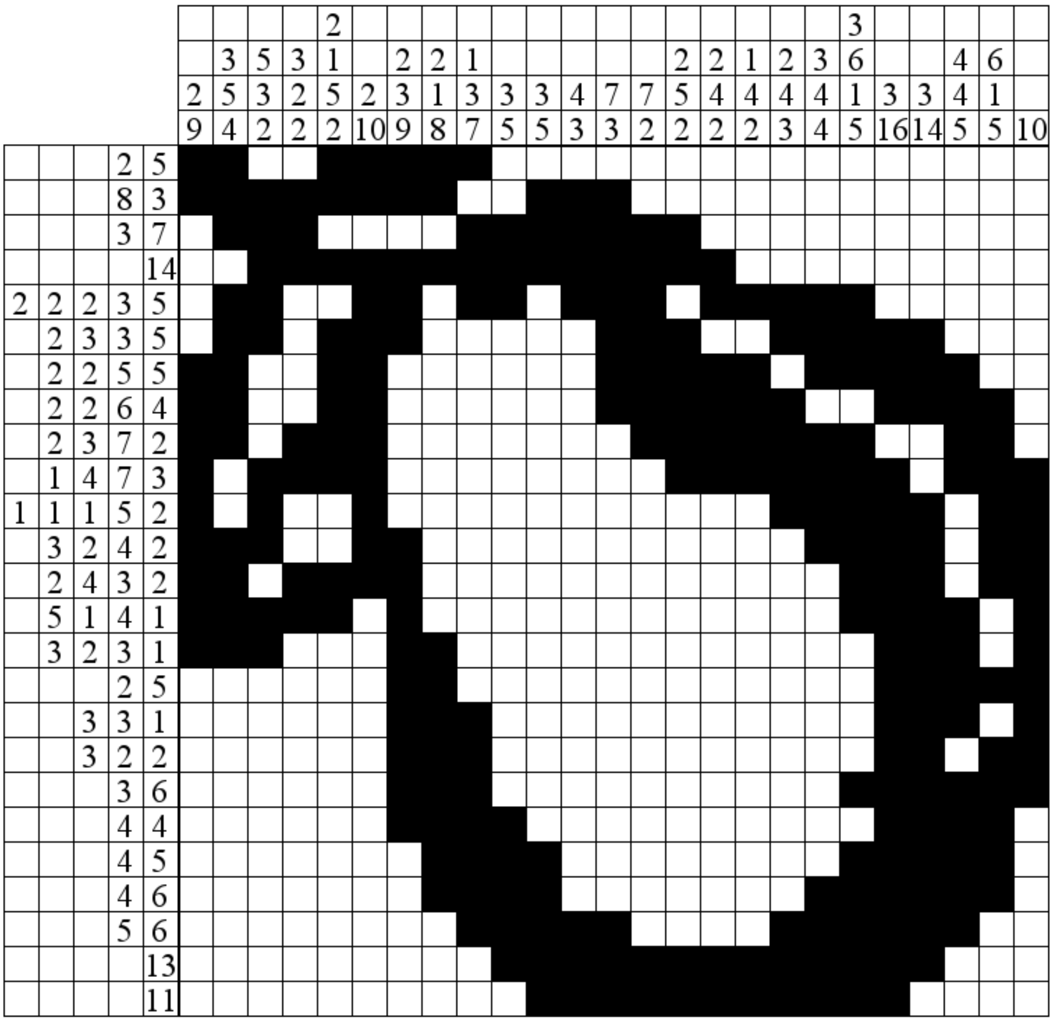
3. Croissant



4. Ventilator



5. Peer


2 9
3 5 4
5 3 2
3 2 2
2 1 5 2
2 10
2 3 9
2 1 8
1 3 7
3 5
3 5
4 3
7 3
7 2
2 5 2
2 4 2
1 4 2
2 4 3
3 4 4
3 6 1 5
3 16
3 14
4 4 5
6 1 5
10
2 5
8 3
3 7
14
2 2 2 3 5
2 3 3 5
2 2 5 5
2 2 6 4
2 3 7 2
1 4 7 3
1 1 1 5 2
3 2 4 2
2 4 3 2
5 1 4 1
3 2 3 1
2 5
3 3 1
3 2 2
3 6
4 4
4 5
4 6
5 6
13
11