

Verslag Tinlab Advanced Algorithms

A. J. Ruigrok & J. I. Weverink
176-671

12 juni 2021



Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Doelstelling	3
3	Literatuur onderzoek	4
3.1	Soorten sluizen	4
3.1.1	Onderdelen	4
3.2	Veiligheid	4
3.2.1	Deuren	5
3.2.2	Invloed van wind	5
3.2.3	Vorming van ijs	5
3.3	Capaciteit	6
3.4	Conclusie	6
4	Eisen	7
5	Specificaties	8
6	Verificatie	9
6.1	Liveness	11
7	Ontwerpen	12

1 Inleiding

Nadat er een grondige analyse van het Nederlandse sluizen park is uitgevoerd is gebleken dat een renovatie van een groot aantal sluizen noodzakelijk is. Uit een eerste verkenning is gebleken dat renoveren en tegelijkertijd automatiseren een voordeel kan opleveren. Zo kun je duidelijke verbetering zien in de veiligheid, efficiëntie, capaciteit, onderhoudskosten en duurzaamheid.

Met oog op het onlangs afgesloten klimaatakkoord, en de doelen die behaald moeten worden, heeft de Nederlandse overheid besloten om over te gaan op ingrijpende renovaties van verschillende soorten sluizen. Op het ministerie van infrastructuur en waterstaat mist alleen wel de nodige kennis van ICT en systemen.

Zodoende is aan ons gevraagd een model (of een onderling samenhangend aantal modellen) aan te leveren. Dit kan dan gebruikt worden om verschillende, geautomatiseerde sluizen te realiseren.

Zie hier een referentie naar latex Companion [?] en nog een naar Einstein [?]...

2 Doelstelling

Er zijn een hoop verschillende soorten sluizen in Nederland, aangezien wij de tijd en middelen hebben voor een enkel type sluis hebben wij de keuze laten vallen op een schutsluis. Dit type sluis is bedoelt om schepen op een hoger of lager water niveau te brengen. Je kunt dit ook wel omschrijven als een waterlift of een botenlift [BRON].

Voor de sluis zal gekeken moeten worden welke stappen er genomen worden en welke hiervan door een persoon gedaan. Omdat wij gevraagd zijn voor het automatiseren van een sluis, zullen we dus moeten kijken naar het vervangen van de handeling van een persoon.

Ook kan er door de automatisering het proces geoptimaliseerd worden, en dus efficiënter gemaakt worden. Er moet dus gekeken worden naar hoe het proces het beste kan worden ontworpen om optimaal van de tijd gebruik te maken. Wel moet rekening gehouden worden met de energie die het kost. Een minimale tijdswinst is een grote energie stijging niet waard. Hier zal zowaar nodig een afweging gemaakt moeten worden.

Door het menselijke toedoen te schrappen kan de veiligheid ook verbeterd worden. Mensen kunnen door verschillende factoren een fout maken of het nu hun schuld is of niet. Machines zijn natuurlijk niet uitgesloten van 'fouten'. Het is dus belangrijk om te vinden welke mogelijke nieuwe veiligheidsrisico's erbij komen en dit te vergelijken met de veiligheidsrisico's die verdwijnen.

3 Literatuur onderzoek

3.1 Soorten sluizen

Uiteraard is er niet een soort sluis. Er zijn verschillende sluizen, elk met een andere toepassing voor verschillende situaties.[2]

- Uitwateringsluis
- Inlaatsluis
- Keersluizen
- Spuisluizen
- Schutsluizen
- Inundantiesluizen
- Damsluizen
- Keersluizen

De type sluis die wij hebben gekozen te modelleren is een schutsluis. Het verslag zal zich voortzetten met als onderwerp een schutsluis modelleren.

3.1.1 Onderdelen

Om een sluis correct te laten functioneren zijn er verschillende onderdelen nodig, die elk hun taak binnen het systeem moeten verrichten. De welbekende onderdelen zijn sluisdeuren, sluiskamer en een waterpomp die het waterpeil regelt. Een belangrijk onderdeel voor binnenvarende schepen zijn drijf bolders. Schippers leggen hier hun schepen aan vast zodat ze op een plek drijven tijdens het schutten. Verder is er nog een mens aanwezig die de sluis bedient, maar aangezien het vraagstuk gaat om een automatische sluis zal er geen persoon of bedienings panelen worden gebruikt.

3.2 Veiligheid

Om ervoor te zorgen dat een sluis veilig in gebruik genomen kan worden moet het aan een aantal veiligheidseisen voldoen. Een veilige sluis voldoet tenminste aan de volgende eisen. Aan welke veiligheidseisen moet een sluis zich voldoen.

- De kamer moet goed afgesloten zijn, dit houdt in dat hij waterdicht moet zijn.
- Er wordt bijgehouden wat de waterhoogte is. Dit dient bijgehouden te worden voor de kant met hoog en laag water, maar ook binnen in de sluis zelf.
- Hoeveel water er in de sluis gaat en hoeveel water er uit de sluis gaat.

3.2.1 Deuren

De deuren zijn belangrijk voor een sluis. Ze zorgen ervoor dat de boten door de sluis kunnen komen en zijn krachtig genoeg om het water buiten de sluis te houden op moment van het schutten. De deuren zijn daarom de krachtigste en een van de belangrijkste onderdelen van de sluis, maar ze moeten dan ook nog correct werken.

De deuren mogen bijvoorbeeld niet tegelijk openstaan. Dit zorgt voor vrije stroming van het water tussen de twee voormalig gescheiden gebieden. Dit kan zorgen voor grote problemen, afhankelijk van de type deur. Er bestaan overigens wel sluizen waar beide deuren in sommige gevallen tegelijk open kunnen. Dit gebeurt echter alleen bij sluizen waar het waterverschil zeer klein is en als de boot te groot voor de sluis is.

Ook moet één deur pas opengaan als de waterhoogte van de sluis op gelijke hoogte is met de waterhoogte dat zich buiten de deur bevindt. Als dit niet het geval is dan kunnen de vaartuigen in de sluis onbedoeld en onvoorzien in beweging komen.

3.2.2 Invloed van wind

Wind kan ervoor zorgen dat boten onbedoeld in beweging worden gebracht. In de huidige tijd kunnen we ervan uitgaan dat de meeste beroepsschepen over een boegschroef met voldoende vermogen beschikken. De schepen kunnen d.m.v de boegschroef de werking van de wind compenseren. Tevens is het de taak van de schipper om de werking van de wind te anticiperen. De schipper moet het schip op zijn plek houden zodra de sluis wordt benadert of gedurende het gebruik van de sluis.

Vanuit het *Richtlijnen Vaarwegen 2017* verslag van Rijkswaterstaat [1] kan worden vernomen dat er geen rekening gehouden hoeft te worden met windkrachten in het model. De verantwoordelijkheid om hiermee juist te handelen wordt bij de schipper gelegd. Dit is dan ook een menselijke handeling en is niet realistisch om te kunnen modelleren.

3.2.3 Vorming van ijs

Ijsvorming kan een probleem vormen voor een sluis. Ijs kan ervoor zorgen dat de deuren niet meer goed functioneren. Elk type deur heeft zijn eigen gevoeligheden:

- Puntdeuren zijn gevoelig voor ijsvorming en ophoping in en direct voor de deuren. Dit zorgt ervoor dat de deuren niet open kunnen gaan.
- Enkel draaideuren zijn ook gevoelig voor ijsvorming voor en ophoping in en direct voor de deuren.
- Roldeuren kunnen vastlopen in drijvend ijs dat zich ophoopt. Dit kan leiden tot vastvriezen.
- Hefdeuren zijn gevoelig voor aanhechting van ijs. Aangehecht ijs kan op onder doorvarende schepen vallen. Ook kan de deur vastlopen of dusdanig zwaar raken dat de deur te zwaar wordt om te heffen.

Er zijn natuurlijk ook middelen om de sluis ijsvrij te maken. Deze middelen zijn: luchtbellenscherm, kasblaasinstallatie, verwarringselementen of een geheel gesloten constructie van de sluis.

3.3 Capaciteit

De capaciteit van een sluis kan op twee manieren beschreven worden. De eerste en meest belangrijke voor vele schippers is de hoeveelheid schepen die in de sluis passen. Daarnaast kan er voor capaciteit ook naar het volume van het water gekeken worden. Hoeveel water past er in de sluis. Als we dan naar efficiëntie kijken, dan spreken we over de snelheid waarmee het water niveau verandert kan worden. Oftewel de capaciteit van bijv. een waterpomp.

Voor het modelleren is het echter niet van belang wat de capaciteit van een waterpomp is of hoeveel water er in de sluis kan. De capaciteit van het aantal schepen is wel van belang. Als er meerdere schepen moet de sluis zijn deuren niet sluiten als nog niet alle aanwezige schepen binnen zijn. Hetzelfde geldt voor wanneer de schepen de sluis willen verlaten.

3.4 Conclusie

De deuren worden uiteraard gemodelleerd. Zonder een soort deur kan je geen sluis maken. Doordat deze ijs bestrijdingsmiddelen niet een directe invloed hebben op de handelingen van de sluis hebben we besloten deze dan ook niet te modeleren.

Wij streven ernaar om het model zo modulair mogelijk te maken. Dit is dan ook de reden dat we geen rekening houden met de capaciteit van de schepen die in de sluis passen.

Wind is een invloed van buitenaf. In de opdracht van de ambtenaar is beschreven dat er hier op dit moment geen rekening mee gehouden hoeft te worden.

4 Eisen

Het literatuur onderzoek kan gebruikt worden om eisen op te stellen. Om binnen de scope van het modelleren te blijven zullen hier alleen eisen genoemd worden met betrekking tot software. De eisen zijn als volgt:

- De deuren mogen niet op het zelfde moment open kunnen staan.
Er is geen blockkade meer aanwezig in de rivier waardoor er stroming kan ontstaan. Hierdoor zouden de deuren niet meer dicht kunnen. Dat er geen enkele situatie kan voorkomen dat dit het geval is moet geverifieerd worden.
- Een deur mag pas geopend worden als de waterhoogte binnen gelijk is aan de waterhoogte buiten.
Als er een groot hoogte verschil is kunnen de boten van hun plek getrokken worden. Dit kan gebeuren wanneer er te veel water de sluis in of uitstroomt.
- Er is een stoplicht nodig wat aangeeft wanneer een boot de sluis binnen mag varen. Dit betreft een stoplicht aan de bovenzijde en de onderzijde. Daarnaast is er een stoplicht nodig die aangeeft wanneer een boot de sluis weer mag verlaten.
 - o Een stoplicht mag alleen op groen als de deur open staat.
 - o Het stoplicht binnen de sluis gaat pas weer op rood als alle boten de sluis volledig hebben verlaten.
 - o De buiten stoplichten kunnen pas op groen als het stoplicht binnen in de sluis op rood staat.

De stoplichten zorgen voor duidelijkheid bij de schippers, voor wanneer ze van hun plek kunnen vertrekken.
- De waterhoogte moet bijgehouden worden, dit geldt voor het compartiment van de sluis, de hoge zijde en de lage zijde van de rivier.
Als de hoogtes worden bijgehouden kan er rekening mee worden gehouden in het model. Dit is onder andere nodig om aan de bovenstaande eis te voldoen.
- Er moet een rij gemodelleerd worden, wat de wachtende schepen moet voorstellen.
Met deze wachtrij van schepen kan worden bijgehouden of er schepen in de sluis zitten en mogelijk hoeveel schepen.

Het volgende onderwerp valt buiten de scope van het modelleren. Hier hoeft dus geen rekening meegehouden te worden.

- Windkrachten

5 Specificaties

- Als deur A open staat, dan moet deur B dicht zijn en Vic versa.
- Een deur mag pas open als het waterniveau binnen de sluis en buiten de deur gelijk is.
- Er is maximaal maar één stoplicht op groen.
- Deuren gaan alleen open of dicht als alle stoplichten op rood staan.
- Er kunnen maximaal X aantal boten wachten in de rij.

6 Verificatie

- We controleren of er geen deadlock in het systeem zit. Als dit wel het geval is kan het systeem vastlopen en is er menselijke interventie nodig om het probleem te verhelpen.

$A[]$ not deadlock.

De uitkomst van deze verificatie is **groen**. Dit betekent dat in het model zich geen deadlock bevindt.

- Twee deuren mogen op geen enkel moment samen open zijn. Een constante stroming van hoog naar laag is niet gewenst in een sluis. Hiervoor controleren we op de "open" states van beide deuren actief zijn. Daarnaast moet er gecontroleerd worden of er geen situatie bestaat waarin beide deuren tegelijk opengaan.

$A[]$ not (Door(0).Open == true && Door(1).Open == true)

$A[]$ not (Door(0).Opening == true && Door(1).Opening == true)

Het resultaat van de twee queries is **groen**. Er is dus geen situatie mogelijk waarin beide deuren open staan.

De queries hieronder zijn eigenlijk al deels bevestigd door de hierboven genoemde queries. Maar omdat een deur in de closing en opening state niet volledig gesloten hoeven te zijn moet er alsnog gecontroleerd worden of er een situatie is waarin een deur open gaat of sluit terwijl de ander niet volledig dicht is.

$A[]$ not (Door(0).Opening == true && Door(1).Open == true)

$A[]$ not (Door(1).Opening == true && Door(0).Open == true)

$A[]$ not (Door(1).Opening == true && Door(0).Closing == true)

$A[]$ not (Door(0).Opening == true && Door(1).Closing == true)

Als er een situatie zoals hierboven beschreven zou plaatsvinden, dan is de kans groot dat er twee open deuren zijn geweest of zullen volgen. Met de kennis eerder verkregen dat er geen moment is waar er twee deuren open zijn, is het geen verrassing dat de queries ook met een **groene** status uit de verificatie komen.

- Soort gelijken situaties kunnen we testen voor de stoplichten, zoals beide stoplichten op groen of oranje.

$A[]$ not(TrafficLight(0).Green == true && TrafficLight(1).Green == true)

$A[]$ not(TrafficLight(0).Orange == true && TrafficLight(1).Orange == true)

$A[]$ not(TrafficLight(0).Green == true && TrafficLight(1).Orange == true)

$A[]$ not(TrafficLight(0).Orange == true && TrafficLight(1).Green == true)

Deze verificatie geven aan of er niet aan beide kanten een boot toegelaten wordt. Ook deze verificatie zijn **groen** afgesloten.

- Het is belangrijk dat de stoplichten pas op groen gaan als de deur open is, vooral om schade te voorkomen. Dit wordt getest voor beide kanten van de sluis.

```
A[ ] not (TrafficLight(0).Green == true && Door(0).Closed == true)
A[ ] not (TrafficLight(0).Orange == true && Door(0).Closed == true)
A[ ] not (TrafficLight(1).Green == true && Door(1).Closed == true)
A[ ] not (TrafficLight(1).Orange == true && Door(1).Closed == true)
```

Het model volgt de volgorde eerst deur open, daarna de stoplichten aansturen, het is dan ook niet raar dat deze verificatie **groen** is afgesloten.

- Als een boot de sluis binnen gaat kan het niet zo zijn dat de boot de hoge en de lage kant als bestemming heeft. Hiervoor testen we of er een situatie is waarin de bestemming beide kanten is.

```
A[ ] not (Main.toHigh == true && Main.toLow == true)
```

Deze verificatie is met **groen** uit de verificatie gekomen.

- Wanneer er een deur open is moet de pomp uistaan. Anders wordt er water bij of weggepompt met een open verbinding naar het kanaal, dat heeft geen zin en is een verspilling van energie.

```
A[ ] not (WaterPump.PumpIn == true && !Door(0).Closed == true)
A[ ] not (WaterPump.PumpIn == true && !Door(1).Closed == true)
A[ ] not (WaterPump.PumpInOut == true && !Door(0).Closed == true)
A[ ] not (WaterPump.PumpInOut == true && !Door(1).Closed == true)
```

Deze queries zijn met **groen** uit de verificatie gekomen. Dat betekent dat de pompen altijd uit staan als er een open verbinding is met het water buiten de sluis. Ofwel als de pomp aan staat zijn de sluisdeuren altijd dicht.

- De schepen mogen niet in contact komen met bewegende onderdelen van de sluis, de deuren. Daarom zullen de stoplichten op rood moeten staan als de deuren in beweging zijn, zodat de schepen buiten de sluis op afstand blijven.

```
A[ ] (Door(1).Closing && TrafficLight(1).Red)
A[ ] (Door(1).Opening && TrafficLight(1).Red)
A[ ] (Door(0).Closing && TrafficLight(0).Red)
A[ ] (Door(0).Opening && TrafficLight(0).Red)
```

Deze queries zijn **rood** uit de verificatie gekomen.

6.1 Liveness

- Nadat de deuren zijn geopend moeten ze gesloten worden. Zodat derest van de cyclus veilig kan verlopen. In de praktijk is de deur ook al open als hij op een kier staat. Daarom wordt er gecontroleerd op wanneer de deur niet meer in zijn closed state staat.

$$\text{Door}(0).\text{Open} \rightarrow \text{Door}.(0).\text{Closed}$$
$$\text{Door}(1).\text{Open} \rightarrow \text{Door}.(1).\text{Closed}$$

- Een schip dat de sluis in gaat moet de sluis verlaten. Dus als de "activeBoatId" 1 of hoger is dan moet hij uiteindelijk weer nul worden, ongeacht de richting waar de boot naartoe wilt.

$$(\text{Main.activeBoatId} \neq 0) \rightarrow (\text{Main.activeBoatId} == 0)$$

- Nadat de waterpomp is aangezet moet hij ook weer uitgaan zodat het water niet te hoog of te laag komt. Dus als hij uit de "Idle" state komt dan moet hij daar weer in terug komen.

$$\neg \text{WaterPump.Idle}() \rightarrow \text{WaterPump.Idle}()$$

Al deze queries zijn **rood** uit de verificatie gekomen. Dit betekent niet dat het model per definitie slecht is. Voor deze queries om geslaagd uit de verificatie te komen moet het model op vrijwel elke locatie gebruik maken van tijd. Dit is voor ons model niet van toepassing, hierdoor zullen alle verificatie pogingen falen.

Om deze queries succesvol te verifiëren zullen alle componenten in het model gebruik moeten maken van een klok, of committed states.

7 Ontwerpen

In de beginsituatie van het model zijn alle deuren gesloten en staat het waterpeil gelijk aan het lage waterpeil in het kanaal. Het model heeft één hoofdcontroller. Deze hoofdcontroller maakt alle beslissingen en heeft het uiteindelijk voor het zeggen wat er moet gaan gebeuren.

In het meest linker en rechter deel van de hoofdcontroller worden boten naar binnen en buiten gelaten. In deze delen is er een verbinding met de stoplichten en de wachtrij gemaakt. Die zijn nodig om de schepen instructies te geven dat ze naar binnen mogen of naar buiten mogen.

Een sta naarbinnen zijn de deuren. De hoofdcontroller geeft een signaal naar de deuren, tot de deuren volledig open of gesloten zijn kan er geen volgende stap gezet worden.

Het middelste deel bestuurt het waterniveau. De controller stuurt een signaal naar de waterpomp die zal blijven pompen tot de watersensor meet dat het water op het juiste niveau staat. de controller vergelijkt dan de huidige niveau en hoe hoog het water buiten de sluis staat. Als dit gelijk is wordt de waterpomp uit gezet en kan er een volgende transitie genomen worden.

Naast de hoofdcontroller zijn er nog een aantal modellen ontworpen ter ondersteuning van de hoofdcontroller. De onderdelen waarvan een model is gemaakt zijn: deuren, waterpomp, watersensor, stoplichten en een queue.

Het model van de deur heeft een heel simpel doel. Het moet aangeven of de deur open of dicht staat. Dit model heeft naast de "open" en "dicht" status ook een "opening" en "closing" status. Deze statussen geven aan dat de deur bezig is in een transitie van open naar dicht of andersom. tijdens deze transitie kunnen er bijvoorbeeld nog geen boten worden toegelaten.

Het waterpomp model heeft 3 statussen. Zijn start status is de "Idle" status. Hierin wacht de waterpomp op een signaal van de hoofdcontroller om te beginnen met het pompen van het water. Afhankelijk van het signaal dat de waterpomp ontvangt schakeld het over op "Pumpln" of "PumpOut". Deze statussen pompen water in of uit de sluis, wat ervoor zorgt dat het waterniveau wordt verhoogt of verlaagd.

Het watersensor model heeft een simpel doel en dus ook een simpel model. Het geeft aan hoe hoog de waterstand is. Het bestaat uit een state met twee transities. Het moet de hoogte van het waterpeil weergeven, zodat deze ook in ander modellen, met name de maincontroller, gebruikt kunnen worden.

De stoplichten zijn gemodelleerd in het model TrafficLight. Voor het stoplicht hebben we gekozen voor een twee lichten model, er is alleen een groen en rood licht. Als het licht in de groen status komt zal hij hier maximaal 30 seconden blijven waarna hij weer naar rood verandert.

Het laatste model is die van de queue. Dit model is net als die van de watersensor erg simpel. het bestaat uit een state met twee transities. Een transitie zet een boot ID in de wachtrij, de andere haalt de eerste eruit en geeft dit nummer mee aan de hoofd controller.

Referenties

[1] Rijkswaterstaat (2017). *Richtlijnen Vaarwegen 2017*

[2] https://www.sluisenenstuwen.nl/soorten_sluisenenstuwen.asp