Visualisatie van de control flow in HLASM-code met Mermaid.js.

Ter ondersteuning van beginnende ontwikkelaars.

Sarah Bader.

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van
Professionele bachelor in de toegepaste informatica

Promotor: Dhr. L. Blondeel
Co-promotor: Dhr. B. Tjassens Keiser
Academiejaar: 2025–2026
Eerste examenperiode

Departement IT en Digitale Innovatie .

HO
GENT

Woord vooraf

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Samenvatting

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Inhoudsopgave

Lijst van figuren

Lijst van tabellen

Lijst van codefragmenten

1

Inleiding

1.1. Probleemstelling

Vaak wordt een mainframe gezien als verouderde technologie die enkel gekend is uit films. Het tegengestelde is waar: mainframes zijn één van de meest geavanceerde servers die voortdurend onderhouden en gemoderniseerd worden. Mainframes zijn dan ook nog volop in gebruik. Door de betrouwbaarheid en capaciteit van een mainframe is het vooral geschikt voor grote aantallen transacties/aanvragen van gebruikers. Mainframes worden vaak gebruikt door banken, verzekeraars, luchtvaartmaatschappijen... om hun fundamentele bedrijfsprocessen te ondersteunen. Omdat deze systemen zo fundamenteel zijn, is het onderhoud ervan van groot belang. Vaak zijn de programma's die draaien op het mainframe ook tientallen jaren oud. Een deel van deze programma's is geprogrammeerd in High Level Assembler (HLASM). Deze programmeertaal wordt vaak gekozen omdat het programma snel moet zijn en directe controle over de hardware nodig heeft. Andere programma's maken vaak gebruik van de HLASM-programma's, waardoor ze ervan afhankelijk worden.
Daarbij zijn deze programma's vaak minimaal gedocumenteerd of bevatten ze verouderde documentatie. Hierdoor is het moeilijk om als nieuwe mainframe developer de voorgaande code te begrijpen.
Veel bedrijven hadden het idee dat mainframes onnodig zouden worden en dat ze konden vertrouwen op "modernere" servers. In werkelijkheid groeide hun workload alleen maar en werd die te groot om op reguliere servers te runnen. Met de voortdurende modernisatie bleek het mainframe echter de beste keuze om hun bedrijfsactiviteiten verder op te vertrouwen.
Met de oude mindset dat ze van het mainframe zouden weggaan, investeerden bedrijven niet in nieuw mainframe talent. Hierdoor bestaat de industrie vooral uit professionals die binnenkort met pensioen gaan. Nu het duidelijk is dat een main-

frame beter in staat is om hun huidige workload te beheren, is het tekort aan junior talent een probleem. De kennis van de bedrijfsprogramma's en systemen zit dus in een generatie die de arbeidsmarkt verlaat.
Hierdoor is er nood aan een nieuwe generatie om vooral het onderhoud van de systemen en programma's te beheren. Door het gebrek aan voldoende en bruikbare documentatie is het vaak moeilijk om als nieuwe mainframe programmeur code te begrijpen, wat het onderhouden ervan belemmert. Documentatie is dus belangrijk voor de leesbaarheid en onderhoudbaarheid van de code, waardoor minder fouten worden gemaakt.
Een hulpmiddel zou een visualisatietool kunnen zijn die kan dienen als documentatie. Beginners hebben vaak moeite met het begrijpen van de control flow van een programma, daarom is visualisatie van de control flow vooral handig.

1.2. De onderzoeksvraag

Dit onderzoek is gericht op het beantwoorden van de volgende vraag:

> *Hoe effectief versnellen statische analyse en Mermaid-diagrammen het leerproces van HLASM bij beginners?*

Binnen dit onderzoek wordt gefocust op twee aspecten: het technische en het menselijke. Er wordt gekeken naar hoe de visualisatie technisch kan geïmplementeerd worden en ook naar de effectiviteit van de visualisatie als documentatie en hulpmiddel bij het begrijpen van de control flow in HLASM.

1.3. Onderzoeksdoelstelling

Het doel van dit onderzoek is het uitwerken van een Proof-of-Concept en een bijhorende analyse ervan. De PoC moet in staat zijn de belangrijkste onderdelen van HLASM-code om te zetten in een Mermaid.js flowchart. De focus ligt expliciet op de structuur van het programma, dus minder op de details. Het moet bijvoorbeeld weergeven waar het programma begint, waar het zich opsplitst in verschillende takken en waar het eindigt.
Vooraleer de implementatie van start gaat, wordt onderzoek gedaan naar de bestaande technologieën die van hulp kunnen zijn. Dit onderzoek wordt uitgevoerd in de vorm van een literatuurstudie. Tijdens de literatuurstudie wordt gekeken naar het probleemdomein en het oplossingsdomein.
Binnen de literatuurstudie worden volgende vragen gesteld om het probleemdomein beter te verstaan:

- Waarom is een mainframe nog steeds van belang?
- Waarom is er nood aan het onderhouden van HLASM-code?
- Hoe helpt visualisatie met het begrijpen van codestructuur?

- Wat zijn de moeilijkheden bij het begrijpen van assemblytalen voor beginnende ontwikkelaars?

Rond het oplossingsdomein worden volgende vragen bestudeerd:

- Hoe helpt visualisatie bij het sneller begrijpen van programma's?
- Welke tools bestaan er al om HLASM-code te visualiseren?
- Welke HLASM parsers bestaan er?
- Welke JavaScript-libraries zijn toegankelijk en bruikbaar?

1.4. Het verwachte resultaat

Het verwachte resultaat van dit onderzoek is dat de visualisatie helpt bij het beheersen van HLASM-control flow, in tegenstelling tot het gebruik van manuele methodes. Om dit resultaat te meten wordt de PoC geëvalueerd aan de hand van testen die de tijd meten met de PoC en met de manuele manier.

1.5. Structuur van het onderzoek

Deze bachelorproef is als volgt opgesteld:
In Hoofdstuk 2 (Literatuurstudie) worden de deelvragen uit het oplossingsdomein en het probleemdomein onderzocht aan de hand van bestaande onderzoeken en literatuur. Hiermee wordt een beter zicht gecreëerd op het probleem en de oplossing om zo gericht mogelijk te werken.
In Hoofdstuk 3 (Methodologie) wordt toegelicht welke onderzoekstechnieken worden gebruikt.
In Hoofdstuk 4 (HLASM-analyse) wordt gekeken naar Assembler, hoe de programmeertaal is opgebouwd en welke elementen de structuur van het programma vastleggen.
In Hoofdstuk 5 (Control-flow visualisatie) wordt bekeken hoe de Assembler-structuur kan worden omgezet naar Mermaid.js-elementen. Er wordt onderzocht hoe dit visueel logisch kan worden gerepresenteerd.
In Hoofdstuk 6 (Proof-of-Concept) wordt de PoC uitgewerkt en daarna geëvalueerd aan de hand van testen.
In Hoofdstuk 7 (Conclusie) wordt gekeken naar het resultaat van de evaluatie en naar de literatuurstudie om een antwoord te formuleren op de onderzoeksvragen.

2

Literatuurstudie

2.0.1. Belang van de mainframecomputer

Vaak worden mainframes beschreven als oude technologie en wordt gedacht dat ze niet meer relevant zijn. Ook wouden bedrijven graag mainframes vervangen door andere servers. Momenteel zijn mainframes nog steeds zeer actief en staan ze in voor kritische bedrijfsactiviteiten. Tegenwoordig worden mainframes ook geïntegreerd met moderne technologieën (Sagers e.a., 2018). Het onderzoek van Sagers e.a. (2018) wordt bevestigd door recent onderzoek waarin wordt aangetoond dat organisaties niet enkel gebruikmaken van legacyapplicaties, maar ook bezig zijn met het actief ontwikkelen van nieuwe applicaties (Shaik, 2024).
Mainframes zijn dus een zeer relevante en moderne technologie, die dagelijks draait. Omdat ervaren mainframeprofessionals hun pensioen naderen is er een behoefte aan een nieuwe generatie mainframespecialisten die het onderhoud van deze systemen kunnen waarborgen (Waites & Ketterer, 2013).

2.0.2. Nood aan onderhoud van HLASM-code

Bedrijfskritische functionaliteiten van mainframeapplicaties zijn vaak afhankelijk van High Level Assembler (HLASM), waardoor onderhoud van deze legacycode van groot belang is. Als de aangeroepen HLASM-code faalt, dan faalt het volledige programma (Zaytsev, 2020). Uit een onderzoek naar softwareonderhoud blijkt dat het begrijpen van bestaande code een groot deel van de moeite neemt tijdens onderhoud. Vooral bij beginnende ontwikkelaars gaat het merendeels van hun tijd aan het begrijpen van de functionaliteit, dit is omdat zij minder ervaring hebben (Xia e.a., 2018). Dit is vooral het geval bij legacycode zoals HLASM, omdat daar de documentatie vaak beperkt is.

2.0.3. Moeilijkheden voor beginnende ontwikkelaars

Assemblytalen zijn zeer gedetailleerd, als ontwikkelaar definieer je elke kleine stap van het programma, wat ingewikkeld kan zijn voor beginners. Uit onderzoek blijkt dat naarmate de ervaring toeneemt, het gemakkelijker wordt om de functionaliteit van code te begrijpen (Feigenspan e.a., 2012).
Binnen het onderwijs hebben studenten vooral moeite met de componenten die de logische volgorde van het programma bepalen. Dit zijn de componenten die de control flow van het programma definiëren. Bij het begrijpen van de control flow maken beginners vaak fouten en ervaren ze vaak verwarring (Kawash, 2024). Hieruit kan worden geconcludeerd dat de control flow van code een moeilijkheid is onder beginnende ontwikkelaars.

2.0.4. Effectiviteit van visualisatietechnieken

Visualisatietechnieken worden vaak gebruikt om code beter te begrijpen en worden ook erkend als technieken die sneller en meer inzicht geven in codefunctionaliteiten. Visualisaties worden vaak gebruikt om de structuur van code te representeren (Storey, 2005). Bij assemblytalen kan visualisatie vooral helpen, aangezien de code vaak is opgebouwd uit zeer gedetailleerde instructies en kan worden gegroepeerd in componenten (Baldwin e.a., 2009).

2.0.5. Bestaande visualisatietools en parsers

Een bestaande tool die kan worden gebruikt voor de visualisatie van HLASM-code is FermaT. Deze tool is vooral gericht op het begrijpen en migreren van legacycode. Het is een zeer krachtige en zware tool die veel functionaliteiten heeft (Ward, 2001). Ook bied IBM een HLASM parser aan, die onderdeel maakt van IBM Developer for z/OS. Deze parser is bedoeld voor diepe analyse en gebruik met andere tools (IBM, g.d.).
Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een lichte tool die HLASM-code omzet naar een high-level control-flowdiagram visualisatie in Mermaid.js-syntax. Deze tool is specifiek bedoeld voor educatieve doeleinden, om beginnende ontwikkelaars te ondersteunen. Ook ligt de focus enkel op een beperkte subset van control-flow-instructies, in tegenstelling tot bestaande tools.

2.0.6. JavaScript Parsing

Binnen HLASM wordt er gewerkt met een vaste kolom-gebaseerde indeling. Elk onderdeel van de code staat op een vaste plek. Elke kolom heeft een eigen functie: kolommen 1-8 zijn voor labels, kolommen 10-14 voor de instructie en vanaf kolom 16 staan de operanden. Na kolom 71 wordt alles beschouwd als commentaar of wordt het genegeerd (*HLASM V1R6 Language Reference*, g.d.).
JavaScript is zeer nuttig om tekst te parsen, het is namelijk erg goed in het doorzoeken en herkennen van patronen (Flanagan, 2011). Voor de PoC is een regel-voor-

regel aanpak voldoende. Hierbij zal de parser elke regel doorlopen op basis van de vaste kolomposities. Zo kunnen de labels en instructies herkend worden die bijdragen aan de control-flow. De verzamelde elementen worden vervolgens gemapt naar Mermaid.js-elementen.

2.0.7. Mermaid.js en flowcharts

Met Mermaid.js worden flowcharts en andere structuren vanuit tekst automatisch gevisualiseerd (Sveidqvist & Jain, 2021). Dit maakt het makkelijk om een mapping te maken van HLASM-elementen naar een visuele representatie. Het gebruik van flowcharts om complexe software begrijpelijk te maken is een bekend middel in de informatica (Ensmenger, 2016).
Een flowchart maakt gebruik van blokken en pijlen om een route te definiëren. In de context van informatica worden flowcharts vaak gebruikt om de route van een programma weer te geven (Charntaweekhun & Wangsiripitak, 2006). In het geval van HLASM kunnen bijvoorbeeld spronginstructies worden weergegeven als pijlen die het programma brengen naar een ander codeblok.

3

Methodologie

Binnen dit hoofdstuk wordt toegelicht hoe dit toegepast en technisch onderzoek werd uitgevoerd. Het onderzoeksproces werd uitgevoerd in verschillende fasen. Per fase wordt de doelstelling, de gebruikte onderzoeksmethode en het bijhorende resultaat toegelicht.

3.0.1. Fase 1: Literatuurstudie

Binnen de literatuurstudie werd onderzoek gedaan naar het probleemdomein en het oplossingsdomein. De doelstelling was om inzicht te krijgen in het belang van mainframes, de rol van HLASM en de moeilijkheden bij het begrijpen van assemblytalen voor beginnende ontwikkelaars. Voor het oplossingsdomein werd onderzocht welke visualisatietechnieken en bestaande tools gebruikt worden voor het analyseren van control flow.
De onderzoeksmethode in deze fase bestond uit het analyseren van wetenschappelijke literatuur, technische documentatie en bestaande tools.
Het resultaat van deze fase is Hoofdstuk 2 (Literatuurstudie), waarin de deelvragen worden beantwoord en de noodzaak van een visualisatietool wordt onderbouwd. Deze fase diende als theoretische basis voor de verdere technische uitwerking.

3.0.2. Fase 2: Requirementsanalyse

Op basis van de literatuurstudie werd een requirementsanalyse opgesteld. De doelstelling van deze fase was het definiëren van concrete en meetbare eisen voor de proof-of-concept en de evaluatie.
Er werd bepaald welke subset van HLASM-instructies en labels noodzakelijk is om de control flow van een programma correct te representeren. Daarnaast werden succescriteria vastgelegd, zoals correcte detectie van instructies, correcte omzetting naar Mermaid.js-flowcharts en meetbare tijdswinst bij het begrijpen van code.

De onderzoeksmethode bestond uit analyse en afbakening op basis van de bevindingen uit de literatuurstudie.
Het resultaat van deze fase is een afgebakende scope en een duidelijke set functionele eisen voor de verdere ontwikkeling.

3.0.3. Fase 3: Technische analyse van HLASM

In deze fase werd de structuur van HLASM-broncode geanalyseerd. De doelstelling was te bepalen hoe control-flowconstructies, zoals labels, conditionele vertakkingen en subroutine-aanroepen, syntactisch worden weergegeven.
De methode bestond uit een technische analyse van representatieve HLASM-codefragmenten. Hierbij werd specifiek gekeken naar de kolomgebaseerde structuur en naar patronen die bruikbaar zijn voor statische analyse via een parser.
Het resultaat van deze fase is Hoofdstuk 4 (HLASM-analyse), waarin wordt vastgelegd welke structurele elementen noodzakelijk zijn voor de visualisatie van de control flow.

3.0.4. Fase 4: Ontwerp en Implementatie

Op basis van de vorige fasen werd een proof-of-concept ontwikkeld. De doelstelling was het automatisch omzetten van een geselecteerde subset HLASM-code naar een control-flowchart in Mermaid.js-syntax.
De ontwikkeling gebeurde iteratief. Er werd een JavaScript-gebaseerde parser ontworpen die via patroonherkenning instructies en labels detecteert in de HLASM-broncode. Vervolgens werd een mapping opgesteld tussen deze elementen en overeenkomstige Mermaid.js-structuren.
De onderzoeksmethode in deze fase is ontwerpgericht en technisch-experimenteel.
Het resultaat van deze fase is Hoofdstuk 5 (Control-flow visualisatie) en Hoofdstuk 6 (Proof-of-Concept), waarin zowel het ontwerp als de implementatie worden toegelicht.

3.0.5. Fase 5: Evaluatie

In de evaluatiefase werd onderzocht of de proof-of-concept effectief bijdraagt aan het sneller begrijpen van HLASM-control flow.
De methode bestond uit een vergelijkende studie met 6 à 10 deelnemers. De deelnemers werden opgesplitst in twee groepen: één groep gebruikte de proof-of-concept bij het analyseren van HLASM-codefragmenten, de andere groep voerde een manuele analyse uit. Beide groepen werkten met dezelfde codefragmenten en werden getimed tot het moment waarop zij aangaven de control flow te begrijpen.
De verzamelde resultaten werden geanalyseerd op correctheid en tijdswinst.
Het resultaat van deze fase wordt besproken in Hoofdstuk 6 (Proof-of-Concept) en Hoofdstuk 7 (Conclusie), waarin de effectiviteit en beperkingen van de oplossing worden geëvalueerd.

4

HLASM-analyse

Etiam pede massa, dapibus vitae, rhoncus in, placerat posuere, odio. Vestibulum luctus commodo lacus. Morbi lacus dui, tempor sed, euismod eget, condimentum at, tortor. Phasellus aliquet odio ac lacus tempor faucibus. Praesent sed sem. Praesent iaculis. Cras rhoncus tellus sed justo ullamcorper sagittis. Donec quis orci. Sed ut tortor quis tellus euismod tincidunt. Suspendisse congue nisl eu elit. Aliquam tortor diam, tempus id, tristique eget, sodales vel, nulla. Praesent tellus mi, condimentum sed, viverra at, consectetuer quis, lectus. In auctor vehicula orci. Sed pede sapien, euismod in, suscipit in, pharetra placerat, metus. Vivamus commodo dui non odio. Donec et felis.

Etiam suscipit aliquam arcu. Aliquam sit amet est ac purus bibendum congue. Sed in eros. Morbi non orci. Pellentesque mattis lacinia elit. Fusce molestie velit in ligula. Nullam et orci vitae nibh vulputate auctor. Aliquam eget purus. Nulla auctor wisi sed ipsum. Morbi porttitor tellus ac enim. Fusce ornare. Proin ipsum enim, tincidunt in, ornare venenatis, molestie a, augue. Donec vel pede in lacus sagittis porta. Sed hendrerit ipsum quis nisl. Suspendisse quis massa ac nibh pretium cursus. Sed sodales. Nam eu neque quis pede dignissim ornare. Maecenas eu purus ac urna tincidunt congue.

Donec et nisl id sapien blandit mattis. Aenean dictum odio sit amet risus. Morbi purus. Nulla a est sit amet purus venenatis iaculis. Vivamus viverra purus vel magna. Donec in justo sed odio malesuada dapibus. Nunc ultrices aliquam nunc. Vivamus facilisis pellentesque velit. Nulla nunc velit, vulputate dapibus, vulputate id, mattis ac, justo. Nam mattis elit dapibus purus. Quisque enim risus, congue non, elementum ut, mattis quis, sem. Quisque elit.

Maecenas non massa. Vestibulum pharetra nulla at lorem. Duis quis quam id lacus dapibus interdum. Nulla lorem. Donec ut ante quis dolor bibendum condimentum. Etiam egestas tortor vitae lacus. Praesent cursus. Mauris bibendum pede at elit. Morbi et felis a lectus interdum facilisis. Sed suscipit gravida turpis. Nulla at

lectus. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Praesent nonummy luctus nibh. Proin turpis nunc, congue eu, egestas ut, fringilla at, tellus. In hac habitasse platea dictumst.
Vivamus eu tellus sed tellus consequat suscipit. Nam orci orci, malesuada id, gravida nec, ultricies vitae, erat. Donec risus turpis, luctus sit amet, interdum quis, porta sed, ipsum. Suspendisse condimentum, tortor at egestas posuere, neque metus tempor orci, et tincidunt urna nunc a purus. Sed facilisis blandit tellus. Nunc risus sem, suscipit nec, eleifend quis, cursus quis, libero. Curabitur et dolor. Sed vitae sem. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Maecenas ante. Duis ullamcorper enim. Donec tristique enim eu leo. Nullam molestie elit eu dolor. Nullam bibendum, turpis vitae tristique gravida, quam sapien tempor lectus, quis pretium tellus purus ac quam. Nulla facilisi.

5

Control-flow visualisatie

Etiam pede massa, dapibus vitae, rhoncus in, placerat posuere, odio. Vestibulum luctus commodo lacus. Morbi lacus dui, tempor sed, euismod eget, condimentum at, tortor. Phasellus aliquet odio ac lacus tempor faucibus. Praesent sed sem. Praesent iaculis. Cras rhoncus tellus sed justo ullamcorper sagittis. Donec quis orci. Sed ut tortor quis tellus euismod tincidunt. Suspendisse congue nisl eu elit. Aliquam tortor diam, tempus id, tristique eget, sodales vel, nulla. Praesent tellus mi, condimentum sed, viverra at, consectetuer quis, lectus. In auctor vehicula orci. Sed pede sapien, euismod in, suscipit in, pharetra placerat, metus. Vivamus commodo dui non odio. Donec et felis.

Etiam suscipit aliquam arcu. Aliquam sit amet est ac purus bibendum congue. Sed in eros. Morbi non orci. Pellentesque mattis lacinia elit. Fusce molestie velit in ligula. Nullam et orci vitae nibh vulputate auctor. Aliquam eget purus. Nulla auctor wisi sed ipsum. Morbi porttitor tellus ac enim. Fusce ornare. Proin ipsum enim, tincidunt in, ornare venenatis, molestie a, augue. Donec vel pede in lacus sagittis porta. Sed hendrerit ipsum quis nisl. Suspendisse quis massa ac nibh pretium cursus. Sed sodales. Nam eu neque quis pede dignissim ornare. Maecenas eu purus ac urna tincidunt congue.

Donec et nisl id sapien blandit mattis. Aenean dictum odio sit amet risus. Morbi purus. Nulla a est sit amet purus venenatis iaculis. Vivamus viverra purus vel magna. Donec in justo sed odio malesuada dapibus. Nunc ultrices aliquam nunc. Vivamus facilisis pellentesque velit. Nulla nunc velit, vulputate dapibus, vulputate id, mattis ac, justo. Nam mattis elit dapibus purus. Quisque enim risus, congue non, elementum ut, mattis quis, sem. Quisque elit.

Maecenas non massa. Vestibulum pharetra nulla at lorem. Duis quis quam id lacus dapibus interdum. Nulla lorem. Donec ut ante quis dolor bibendum condimentum. Etiam egestas tortor vitae lacus. Praesent cursus. Mauris bibendum pede at elit. Morbi et felis a lectus interdum facilisis. Sed suscipit gravida turpis. Nulla at

lectus. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Praesent nonummy luctus nibh. Proin turpis nunc, congue eu, egestas ut, fringilla at, tellus. In hac habitasse platea dictumst.

Vivamus eu tellus sed tellus consequat suscipit. Nam orci orci, malesuada id, gravida nec, ultricies vitae, erat. Donec risus turpis, luctus sit amet, interdum quis, porta sed, ipsum. Suspendisse condimentum, tortor at egestas posuere, neque metus tempor orci, et tincidunt urna nunc a purus. Sed facilisis blandit tellus. Nunc risus sem, suscipit nec, eleifend quis, cursus quis, libero. Curabitur et dolor. Sed vitae sem. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Maecenas ante. Duis ullamcorper enim. Donec tristique enim eu leo. Nullam molestie elit eu dolor. Nullam bibendum, turpis vitae tristique gravida, quam sapien tempor lectus, quis pretium tellus purus ac quam. Nulla facilisi.

6

Proof-of-Concept

Etiam pede massa, dapibus vitae, rhoncus in, placerat posuere, odio. Vestibulum luctus commodo lacus. Morbi lacus dui, tempor sed, euismod eget, condimentum at, tortor. Phasellus aliquet odio ac lacus tempor faucibus. Praesent sed sem. Praesent iaculis. Cras rhoncus tellus sed justo ullamcorper sagittis. Donec quis orci. Sed ut tortor quis tellus euismod tincidunt. Suspendisse congue nisl eu elit. Aliquam tortor diam, tempus id, tristique eget, sodales vel, nulla. Praesent tellus mi, condimentum sed, viverra at, consectetuer quis, lectus. In auctor vehicula orci. Sed pede sapien, euismod in, suscipit in, pharetra placerat, metus. Vivamus commodo dui non odio. Donec et felis.

Etiam suscipit aliquam arcu. Aliquam sit amet est ac purus bibendum congue. Sed in eros. Morbi non orci. Pellentesque mattis lacinia elit. Fusce molestie velit in ligula. Nullam et orci vitae nibh vulputate auctor. Aliquam eget purus. Nulla auctor wisi sed ipsum. Morbi porttitor tellus ac enim. Fusce ornare. Proin ipsum enim, tincidunt in, ornare venenatis, molestie a, augue. Donec vel pede in lacus sagittis porta. Sed hendrerit ipsum quis nisl. Suspendisse quis massa ac nibh pretium cursus. Sed sodales. Nam eu neque quis pede dignissim ornare. Maecenas eu purus ac urna tincidunt congue.

Donec et nisl id sapien blandit mattis. Aenean dictum odio sit amet risus. Morbi purus. Nulla a est sit amet purus venenatis iaculis. Vivamus viverra purus vel magna. Donec in justo sed odio malesuada dapibus. Nunc ultrices aliquam nunc. Vivamus facilisis pellentesque velit. Nulla nunc velit, vulputate dapibus, vulputate id, mattis ac, justo. Nam mattis elit dapibus purus. Quisque enim risus, congue non, elementum ut, mattis quis, sem. Quisque elit.

Maecenas non massa. Vestibulum pharetra nulla at lorem. Duis quis quam id lacus dapibus interdum. Nulla lorem. Donec ut ante quis dolor bibendum condimentum. Etiam egestas tortor vitae lacus. Praesent cursus. Mauris bibendum pede at elit. Morbi et felis a lectus interdum facilisis. Sed suscipit gravida turpis. Nulla at

lectus. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Praesent nonummy luctus nibh. Proin turpis nunc, congue eu, egestas ut, fringilla at, tellus. In hac habitasse platea dictumst.

Vivamus eu tellus sed tellus consequat suscipit. Nam orci orci, malesuada id, gravida nec, ultricies vitae, erat. Donec risus turpis, luctus sit amet, interdum quis, porta sed, ipsum. Suspendisse condimentum, tortor at egestas posuere, neque metus tempor orci, et tincidunt urna nunc a purus. Sed facilisis blandit tellus. Nunc risus sem, suscipit nec, eleifend quis, cursus quis, libero. Curabitur et dolor. Sed vitae sem. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Maecenas ante. Duis ullamcorper enim. Donec tristique enim eu leo. Nullam molestie elit eu dolor. Nullam bibendum, turpis vitae tristique gravida, quam sapien tempor lectus, quis pretium tellus purus ac quam. Nulla facilisi.

7

Conclusie

Curabitur nunc magna, posuere eget, venenatis eu, vehicula ac, velit. Aenean ornare, massa a accumsan pulvinar, quam lorem laoreet purus, eu sodales magna risus molestie lorem. Nunc erat velit, hendrerit quis, malesuada ut, aliquam vitae, wisi. Sed posuere. Suspendisse ipsum arcu, scelerisque nec, aliquam eu, molestie tincidunt, justo. Phasellus iaculis. Sed posuere lorem non ipsum. Pellentesque dapibus. Suspendisse quam libero, laoreet a, tincidunt eget, consequat at, est. Nullam ut lectus non enim consequat facilisis. Mauris leo. Quisque pede ligula, auctor vel, pellentesque vel, posuere id, turpis. Cras ipsum sem, cursus et, facilisis ut, tempus euismod, quam. Suspendisse tristique dolor eu orci. Mauris mattis. Aenean semper. Vivamus tortor magna, facilisis id, varius mattis, hendrerit in, justo. Integer purus.

Vivamus adipiscing. Curabitur imperdiet tempus turpis. Vivamus sapien dolor, congue venenatis, euismod eget, porta rhoncus, magna. Proin condimentum pretium enim. Fusce fringilla, libero et venenatis facilisis, eros enim cursus arcu, vitae facilisis odio augue vitae orci. Aliquam varius nibh ut odio. Sed condimentum condimentum nunc. Pellentesque eget massa. Pellentesque quis mauris. Donec ut ligula ac pede pulvinar lobortis. Pellentesque euismod. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent elit. Ut laoreet ornare est. Phasellus gravida vulputate nulla. Donec sit amet arcu ut sem tempor malesuada. Praesent hendrerit augue in urna. Proin enim ante, ornare vel, consequat ut, blandit in, justo. Donec felis elit, dignissim sed, sagittis ut, ullamcorper a, nulla. Aenean pharetra vulputate odio.

Quisque enim. Proin velit neque, tristique eu, eleifend eget, vestibulum nec, lacus. Vivamus odio. Duis odio urna, vehicula in, elementum aliquam, aliquet laoreet, tellus. Sed velit. Sed vel mi ac elit aliquet interdum. Etiam sapien neque, convallis et, aliquet vel, auctor non, arcu. Aliquam suscipit aliquam lectus. Proin tincidunt magna sed wisi. Integer blandit lacus ut lorem. Sed luctus justo sed enim.

Morbi malesuada hendrerit dui. Nunc mauris leo, dapibus sit amet, vestibulum et, commodo id, est. Pellentesque purus. Pellentesque tristique, nunc ac pulvinar adipiscing, justo eros consequat lectus, sit amet posuere lectus neque vel augue. Cras consectetuer libero ac eros. Ut eget massa. Fusce sit amet enim eleifend sem dictum auctor. In eget risus luctus wisi convallis pulvinar. Vivamus sapien risus, tempor in, viverra in, aliquet pellentesque, eros. Aliquam euismod libero a sem. Nunc velit augue, scelerisque dignissim, lobortis et, aliquam in, risus. In eu eros. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Curabitur vulputate elit viverra augue. Mauris fringilla, tortor sit amet malesuada mollis, sapien mi dapibus odio, ac imperdiet ligula enim eget nisl. Quisque vitae pede a pede aliquet suscipit. Phasellus tellus pede, viverra vestibulum, gravida id, laoreet in, justo. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Integer commodo luctus lectus. Mauris justo. Duis varius eros. Sed quam. Cras lacus eros, rutrum eget, varius quis, convallis iaculis, velit. Mauris imperdiet, metus at tristique venenatis, purus neque pellentesque mauris, a ultrices elit lacus nec tortor. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent malesuada. Nam lacus lectus, auctor sit amet, malesuada vel, elementum eget, metus. Duis neque pede, facilisis eget, egestas elementum, nonummy id, neque.

A

Onderzoeksvoorstel

Het onderwerp van deze bachelorproef is gebaseerd op een onderzoeksvoorstel dat vooraf werd beoordeeld door de promotor. Dat voorstel is opgenomen in deze bijlage.

A.1. Inleiding

Tegenwoordig spelen mainframecomputers een cruciale rol in de dagelijkse activiteiten van bedrijven in de financiële sector, de gezondheidszorg, verzekeringen en tal van andere publieke en private ondernemingen. Deze bedrijven zijn afhankelijk van mainframecomputers en hebben dan ook de nood om deze zo optimaal mogelijk te onderhouden. Vermits veel ervaren mainframe-specialisten hun pensioen naderen, is er nood aan een nieuwe generatie mainframe-specialisten die het onderhoud van hun systemen kan waarborgen. Onder dit onderhoud vallen de bedrijfskritische functionaliteiten van mainframeapplicaties, die voornamelijk afhankelijk zijn van High-Level Assembler (HLASM). Deze legacycode is vaak tientallen jaren oud en minimaal gedocumenteerd. Voor de nieuwe generatie mainframeontwikkelaars vormt dit een uitdaging om deze legacycode te begrijpen en te onderhouden. Zij vertrouwen vaak enkel op manuele code reviews.
Door middel van een geautomatiseerde tool die statische analyse van HLASM-code visualiseert in een control-flowchart, wil dit onderzoek ondersteuning bieden aan beginnende mainframeontwikkelaars, specifiek binnen organisaties die afhankelijk zijn van legacy HLASM-code.
De probleemstelling van dit onderzoek luidt als volgt:

> *Hoe effectief versnellen statische analyse en Mermaid-diagrammen het leerproces van HLASM bij beginners?*

Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een proof-of-concept (PoC) die

een representatieve subset van HLASM-instructies en labels statisch analyseert en deze omzet in een visueel control-flowdiagram in Mermaid.js-syntax.
Vooraleer de ontwikkeling van de PoC van start gaat, wordt een literatuurstudie uitgevoerd naar het probleemdomein en het oplossingsdomein.
Rond het probleemdomein worden volgende vragen bestudeerd:

- Wat is het belang van de mainframecomputer?
- Waarom is er nood aan het onderhouden van HLASM-code?
- Wat zijn de moeilijkheden bij het begrijpen van assemblytalen voor beginnende ontwikkelaars?

Rond het oplossings domein worden volgende vragen bestudeerd:

- Hoe helpt visualisatie bij het sneller begrijpen van programma's?
- Welke tools bestaan er al om HLASM-code te visualiseren?
- Welke HLASM parsers bestaan er?
- Welke HLASM-instructies zijn van noodzaak om de control-flow van de code in kaart te brengen?
- Wat is de beste manier om de kolom-gebaseerde structuur van HLASM te verwerken met een JavaScript-parser?
- Hoe vertaal je de vertakkingen in de HLASM-code naar correcte Mermaid.js-diagrammen?

A.2. Literatuurstudie

A.2.1. Belang van de mainframecomputer

Vaak worden mainframes beschreven als oude technologie en wordt gedacht dat ze niet meer relevant zijn. Ook wouden bedrijven graag mainframes vervangen door andere servers. Momenteel zijn mainframes nog steeds zeer actief en staan ze in voor kritische bedrijfsactiviteiten. Tegenwoordig worden mainframes ook geïntegreerd met moderne technologieën (Sagers e.a., 2018). Het onderzoek van Sagers e.a. (2018) wordt bevestigd door recent onderzoek waarin wordt aangetoond dat organisaties niet enkel gebruikmaken van legacyapplicaties, maar ook bezig zijn met het actief ontwikkelen van nieuwe applicaties (Shaik, 2024).
Mainframes zijn dus een zeer relevante en moderne technologie, die dagelijks draait. Omdat ervaren mainframeprofessionals hun pensioen naderen is er een behoefte aan een nieuwe generatie mainframespecialisten die het onderhoud van deze systemen kunnen waarborgen (Waites & Ketterer, 2013).

A.2.2. Nood aan onderhoud van HLASM-code

Bedrijfskritische functionaliteiten van mainframeapplicaties zijn vaak afhankelijk van High Level Assembler (HLASM), waardoor onderhoud van deze legacycode van groot belang is. Als de aangeroepen HLASM-code faalt, dan faalt het volledige programma (Zaytsev, 2020). Uit een onderzoek naar softwareonderhoud blijkt dat het begrijpen van bestaande code een groot deel van de moeite neemt tijdens onderhoud. Vooral bij beginnende ontwikkelaars gaat het merendeels van hun tijd aan het begrijpen van de functionaliteit, dit is omdat zij minder ervaring hebben (Xia e.a., 2018). Dit is vooral het geval bij legacycode zoals HLASM, omdat daar de documentatie vaak beperkt is.

A.2.3. Moeilijkheden voor beginnende ontwikkelaars

Assemblytalen zijn zeer gedetailleerd, als ontwikkelaar definieer je elke kleine stap van het programma, wat ingewikkeld kan zijn voor beginners. Uit onderzoek blijkt dat naarmate de ervaring toeneemt, het gemakkelijker wordt om de functionaliteit van code te begrijpen (Feigenspan e.a., 2012).
Binnen het onderwijs hebben studenten vooral moeite met de componenten die de logische volgorde van het programma bepalen. Dit zijn de componenten die de control flow van het programma definiëren. Bij het begrijpen van de control flow maken beginners vaak fouten en ervaren ze vaak verwarring (Kawash, 2024). Hieruit kan worden geconcludeerd dat de control flow van code een moeilijkheid is onder beginnende ontwikkelaars.

A.2.4. Effectiviteit van visualisatietechnieken

Visualisatietechnieken worden vaak gebruikt om code beter te begrijpen en worden ook erkend als technieken die sneller en meer inzicht geven in codefunctionaliteiten. Visualisaties worden vaak gebruikt om de structuur van code te representeren (Storey, 2005). Bij assemblytalen kan visualisatie vooral helpen, aangezien de code vaak is opgebouwd uit zeer gedetailleerde instructies en kan worden gegroepeerd in componenten (Baldwin e.a., 2009).

A.2.5. Bestaande visualisatietools en parsers

Een bestaande tool die kan worden gebruikt voor de visualisatie van HLASM-code is FermaT. Deze tool is vooral gericht op het begrijpen en migreren van legacycode. Het is een zeer krachtige en zware tool die veel functionaliteiten heeft (Ward, 2001). Ook bied IBM een HLASM parser aan, die onderdeel maakt van IBM Developer for z/OS. Deze parser is bedoeld voor diepe analyse en gebruik met andere tools (IBM, g.d.).
Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een lichte tool die HLASM-code omzet naar een high-level control-flowdiagram visualisatie in Mermaid.js-syntax. Deze tool is specifiek bedoeld voor educatieve doeleinden, om beginnende ont-

wikkelaars te ondersteunen. Ook ligt de focus enkel op een beperkte subset van control-flow-instructies, in tegenstelling tot bestaande tools.

A.2.6. Control Flow in High Level Assembler

High Level Assembler (HLASM) wordt gezien als een Second Generation Language (2GL), de instructies in HLASM komen rechtstreeks overeen met processor-commando's. Er zijn dus geen abstracties zoals functies of objecten. Deze abstracties zijn wel terug te vinden in talen met een hoger generatieniveau zoals COBOL. HLASM biedt daardoor veel controle over het fysieke systeem, maar dat maakt de code vaak moeilijker te lezen en te onderhouden (Kornelis, 2003).
Om de control-flow van HLASM te definiëren kan er gefocust worden op bepaalde elementen die sprongen of vertakkingen maken:

- Een directe sprong: Instructies zoals B (Branch) sturen het programma direct naar een ander codeblok (*High Level Assembler for z/OS & z/VM & z/VSE: HLASM V1R6 Programmer's Guide*, g.d.).
- Een conditionele sprong: Door middel van vergelijkingen (C voor Compare) of condities (BE voor Branch on Equal) verandert de route van het programma (*High Level Assembler for z/OS & z/VM & z/VSE: HLASM V1R6 Programmer's Guide*, g.d.).
- Een subroutine: Bij het aanroepen van een subroutine worden instructies zoals BAL of BAS gebruikt. Het terugkeren vanuit een subroutine gebeurt via een BR-instructie (Ward, 2013).

Deze specifieke instructies kunnen een idee geven van de control-flow van het programma.

A.2.7. JavaScript Parsing

Binnen HLASM wordt er gewerkt met een vaste kolom-gebaseerde indeling. Elk onderdeel van de code staat op een vaste plek. Elke kolom heeft een eigen functie: kolommen 1-8 zijn voor labels, kolommen 10-14 voor de instructie en vanaf kolom 16 staan de operanden. Na kolom 71 wordt alles beschouwd als commentaar of wordt het genegeerd (*HLASM V1R6 Language Reference*, g.d.).
JavaScript is zeer nuttig om tekst te parsen, het is namelijk erg goed in het doorzoeken en herkennen van patronen (Flanagan, 2011). Voor de PoC is een regel-voor-regel aanpak voldoende. Hierbij zal de parser elke regel doorlopen op basis van de vaste kolomposities. Zo kunnen de labels en instructies herkend worden die bijdragen aan de control-flow. De verzamelde elementen worden vervolgens gemapt naar Mermaid.js-elementen.

A.2.8. Mermaid.js en flowcharts

Met Mermaid.js worden flowcharts en andere structuren vanuit tekst automatisch gevisualiseerd (Sveidqvist & Jain, 2021). Dit maakt het makkelijk om een mapping te maken van HLASM-elementen naar een visuele representatie. Het gebruik van flowcharts om complexe software begrijpelijk te maken is een bekend middel in de informatica (Ensmenger, 2016).
Een flowchart maakt gebruik van blokken en pijlen om een route te definiëren. In de context van informatica worden flowcharts vaak gebruikt om de route van een programma weer te geven (Charntaweekhun & Wangsiripitak, 2006). In het geval van HLASM kunnen bijvoorbeeld spronginstructies worden weergegeven als pijlen die het programma brengen naar een ander codeblok.

A.3. Methodologie

Deze bachelorproef is een toegepast en technisch onderzoek waarin een oplossing wordt gezocht voor het onderhouden en begrijpen van legacy HLASM-broncode. Het onderzoek start met een literatuurstudie naar het probleemdomein en het oplossingsdomein. Ook wordt de control flow van HLASM-broncode bestudeerd, waarna een subset van representatieve HLASM-instructies en labels geselecteerd worden. Na de literatuurstudie start de ontwikkeling van een technische proof-of-concept (PoC) die de geselecteerde subset visueel omzet in een control-flowchart in Mermaid.js-syntax.

A.3.1. Fase 1: Oriëntatie en Literatuurstudie

Tijdens deze fase wordt gefocust op het aanscherpen van de probleemstelling en het oplossingsdomein. Dit gebeurt door middel van een literatuurstudie waarin dieper wordt ingegaan op de deelvragen:

- Wat is het belang van de mainframecomputer?
- Waarom is er nood aan het onderhouden van HLASM-code?
- Wat zijn de moeilijkheden bij het begrijpen van assemblytalen voor beginnende ontwikkelaars?
- Wat is de effectiviteit van visualisatietechnieken voor het sneller begrijpen van programma's?
- Wat zijn de bestaande visualisatietools binnen High Level Assembler?
- Welke HLASM-instructies zijn van noodzaak om de control-flow van de code in kaart te brengen?
- Wat is de beste manier om de kolom-gebaseerde structuur van HLASM te verwerken met een JavaScript-parser?

- Hoe vertaal je de vertakkingen in de HLASM-code naar correcte Mermaid.js-diagrammen?

Deze fase loopt van 20 december 2025 tot 1 maart 2026 en resulteert in een uitgewerkte literatuurstudie en methodologie. Het resultaat bevat concreet een theoretisch onderzoek naar de probleemstelling en oplossingsdomein, en een afgebakende scope van HLASM-instructies en labels voor de verdere ontwikkeling van de technische oplossing.

A.3.2. Fase 2: Requirementsanalyse

Tijdens de literatuurstudie (tussen januari 2026 en maart 2026) wordt een requirementsanalyse uitgevoerd. Het doel van deze fase is om concrete en meetbare eisen voor de proof of concept en de evaluatie vast te leggen.
Binnen deze fase beginnen we eerst met het specifiek definiëren van de doelgroep. Uit de doelgroep wordt gezocht naar 6 à 10 deelnemers die instaan voor de evaluatie van de PoC. Voor de evaluatie worden ook HLASM-codefragmenten verzameld die typische control-flowconstructies hebben zoals labels, conditionele takken en subroutines-aanroepen.
Ook worden de succescriteria van de PoC vastgesteld:

- correcte detectie van de geselecteerde HLASM-instructies en labels;
- correcte omzetting naar Mermaid.js-flowcharts;
- meetbare tijdswinst bij het begrijpen van de control flow in vergelijking met een manuele analyse.

A.3.3. Fase 3: Implementatie en Evaluatie

Tijdens de implementatie- en evaluatiefase wordt de proof-of-concept uitgewerkt en iteratief geëvalueerd. Deze fase vindt plaats tussen 2 maart 2026 en 4 mei 2026. De ontwikkeling gebeurt volgens een scrum-werkwijze om de effectiviteit van de PoC te waarborgen. Met behulp van de subset die in de vorige fase werd gedefinieerd, wordt een JavaScript-gebaseerde parser ontwikkeld die HLASM-code statisch analyseert. De parser identificeert instructies en labels aan de hand van patroonherkenning in de structuur van HLASM-broncode en zet deze via een mapping om naar Mermaid.js-syntax.
Concreet worden tijdens deze fase de volgende aspecten ontwikkeld:

- de logische opbouw van de parser op basis van patroonherkenning in de HLASM-broncodestructuur;
- een mapping van de geselecteerde HLASM-instructies en labels naar Mermaid.js-elementen;

- een evaluatie van de PoC op correctheid en tijdswinst.

Tijdens de ontwikkeling wordt de PoC iteratief geëvalueerd via een vergelijkende studie met handmatige code reviews. De evaluatie wordt uitgevoerd door 6 à 10 vrijwillige deelnemers, de helft van de deelnemers gebruikt de PoC om codefragmenten uit te leggen en de andere helft doet dit zonder de PoC. Beide groepen maken gebruik van dezelfde codefragmenten en worden getimed op het moment waarop zij zelf aangeven dat ze de code begrijpen.
De evaluatie loopt tijdens de implementatie, van 1 april 2026 tot 4 mei 2026.

A.3.4. Fase 4: Resultaat en Verdediging

De laatste fase loopt van 4 mei 2026 tot juni 2026. In deze fase worden de onderzoeksresultaten en evaluatieresultaten verwerkt tot een conclusie.
Specifiek worden de volgende aspecten besproken:

- de sterktes en beperkingen van de PoC;
- mogelijke uitbreidingen voor toekomstig onderzoek.

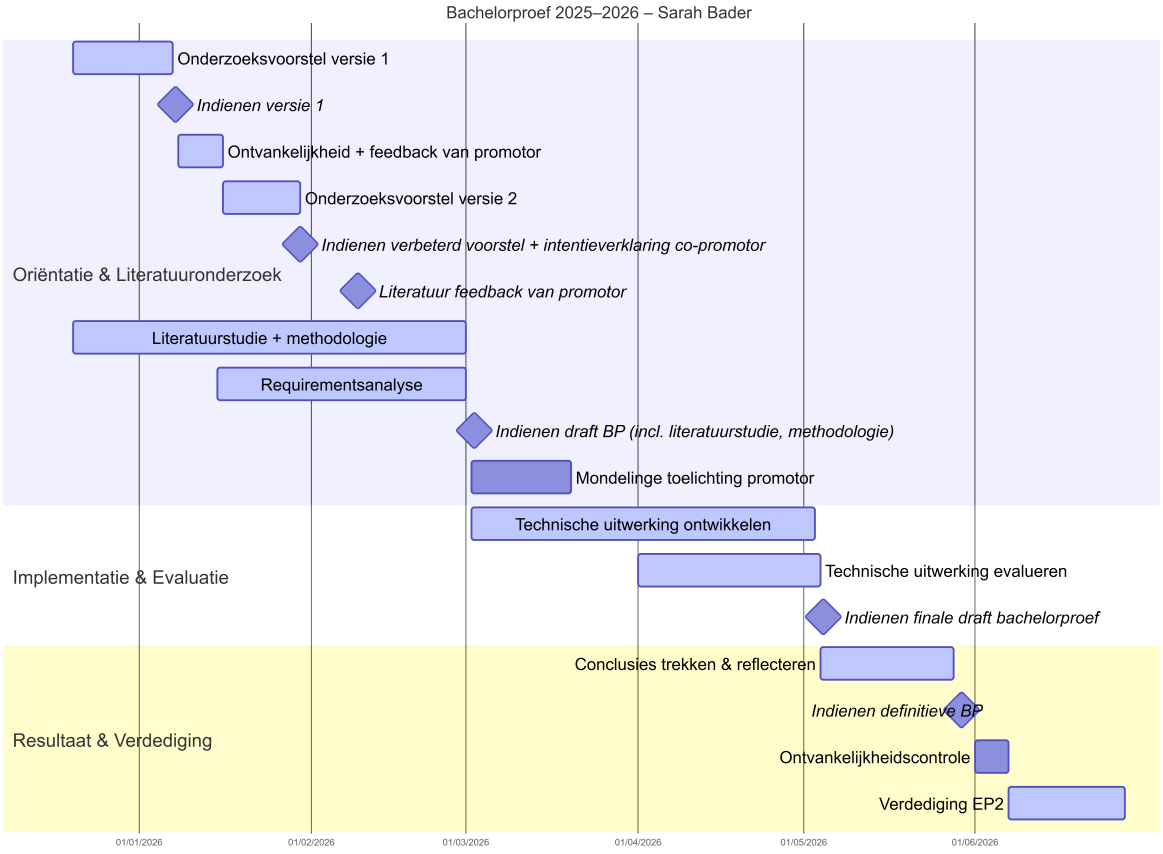
Deze fase resulteert in de finale bachelorproef die wordt ingediend op 29 mei 2026, de verdediging en de proof-of-concept met de bijbehorende documentatie.

A.3.5. Tijdsplanning

Elke fase heeft een tijdsperiode waarin de specifieke resultaten moeten worden opgeleverd voor de volgende fase. Zoals te zien in figuur A.1, zijn ook de administratieve deliverables opgenomen.

A.4. Verwacht resultaat, conclusie

Het verwachte resultaat van deze studie is een proof of concept (PoC), die in staat is een subset van representatieve HLASM- en labels om te zetten in visuele stappen geïnterpreteerd in Mermaid.js-syntax. De PoC brengt door middel van statische HLASM-broncodeanalyse de control flow in kaart. Met deze PoC wordt verwacht beginnende mainframeontwikkelaars te ondersteunen met het begrijpen van een onbekend stuk HLASM-broncode. De evaluatie van het verwachte resultaat wordt uitgevoerd door middel van een vergelijking met de traditionele, handmatige manieren van code reviews.



Figuur A.1: Gantt-diagram met een tijdsindicatie per onderzoeksfase.

Bibliografie

Baldwin, J., Myers, D., Storey, M.-A., & Coady, Y. (2009). Assembly Visualization and Analysis: An Old Dog CAN Learn New Tricks! https://ecs.wgtn.ac.nz/foswiki/pub/Events/PLATEAU/2009Program/plateau09-baldwin.pdf

Charntaweekhun, K., & Wangsiripitak, S. (2006). Visual Programming using Flowchart. *2006 International Symposium on Communications and Information Technologies*, 1062–1065. https://doi.org/10.1109/ISCIT.2006.339940

Creeger, M. (2009). CTO Roundtable: Cloud Computing. *Communications of the ACM*, *52*(8), 50–56.

Ensmenger, N. (2016). The Multiple Meanings of a Flowchart. *51*(3), 321–351. Verkregen januari 25, 2026, van http://www.jstor.org/stable/44667617

Feigenspan, J., Kästner, C., Liebig, J., Apel, S., & Hanenberg, S. (2012). Measuring programming experience. *2012 20th IEEE International Conference on Program Comprehension (ICPC)*, 73–82. https://doi.org/10.1109/ICPC.2012.6240511

Flanagan, D. (2011). *JavaScript: The Definitive Guide* (6th). O'Reilly Media.

High Level Assembler for z/OS & z/VM & z/VSE: HLASM V1R6 Programmer's Guide [SC26-4941-07]. (g.d.). IBM Corporation.

HLASM V1R6 Language Reference [SC26-4940-06]. (g.d.). IBM Corporation.

IBM. (g.d.). *HLASM Parser* [IBM Developer for z/OS documentation]. Verkregen januari 27, 2026, van https://www.ibm.com/docs/en/developer-for-zos/16.0.x?topic=files-hlasm-parser

Kawash, J. (2024). Where Do Students Struggle Most in a First Course on Assembly Language? *Proceedings of the 26th Western Canadian Conference on Computing Education*. https://doi.org/10.1145/3660650.3660652

Knuth, D. E. (1998). *The art of computer programming, volume 3: (2nd ed.) sorting and searching*. Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc.

Kornelis, A. F. (2003). HLASM - Why assembler? https://bixoft.nl/english/why.htm

Pollefliet, L. (2011). *Schrijven van verslag tot eindwerk: do's en don'ts*. Academia Press.

Sagers, G., Ball, K., Hosack, B., Twitchell, D., & Wallace, D. (2018). The Mainframe Is Dead. Long Live the Mainframe! *AIS Transactions on Enterprise Systems*, *2*(1). https://www.aes-journal.com/index.php/ais-tes/article/view/6

Shaik, S. (2024). Importance of Mainframe in Modern Era of Technologies. *Journal of Engineering and Applied Sciences Technology*, 1–3. https://doi.org/https://doi.org/10.47363/jeast/2024(6)257

Storey, M.-A. (2005). Theories, methods and tools in program comprehension. *IEEE Software*, *22*(3), 36–45.

Sveidqvist, K., & Jain, A. (2021). *The official guide to Mermaid.js: Create complex diagrams and beautiful flowcharts easily using text and code*. Packt Publishing.

Waites, S., & Ketterer, J. (2013). Lack of Mainframe Programmers a Critical Issue for IT Organizations A Review of the Literature. *International Journal of Business, Humanities and Technology*, *3*(7). https://ijbht.thebrpi.org/journals/Vol_3_No_7_September_2013/3.pdf

Ward, M. (2013). Assembler restructuring in FermaT. *2013 IEEE 13th International Working Conference on Source Code Analysis and Manipulation (SCAM)*, 147–156. https://doi.org/10.1109/SCAM.2013.6648196

Ward, M. (2001). The FermaT assembler re-engineering workbench. *Proceedings IEEE International Conference on Software Maintenance. ICSM 2001*, 659–662. https://doi.org/10.1109/ICSM.2001.972783

Xia, X., Bao, L., Lo, D., Xing, Z., Hassan, A. E., & Li, S. (2018). Measuring Program Comprehension: A Large-Scale Field Study with Professionals. *IEEE Transactions on Software Engineering*, *44*(10), 951–976. https://doi.org/10.1109/TSE.2017.2734091

Zaytsev, V. (2020). Journal of Object Technology Published by AITO -Association Internationale pour les Technologies Objets Vadim Zaytsev. Modelling of Language Syntax and Semantics: The Case of the Assembler Compiler. *Journal of Object Technology*, *19*(1), 1–22. https://grammarware.net/text/2020/hlasm.pdf