

## Contents

# 1 Einleitung

In diesem Kapitel wird in kürze erläutert was die Motivation und Aufgabe der Bachelorarbeit ist. Im Anschluss daran werden sich andere Systeme angeschaut und erklärt, wie diese das Problem lösen. Anschließend wird ein kurzen Überblick über die kommenden Kapitel gegeben.

## 1.1 Aufgabe und Motivation

Prüfungen, die mithilfe grafischer Editoren modelliert werden, müssen in vielen Fällen eine Vielzahl von wiederkehrenden Aufgaben abbilden. Diese Wiederholungen können bei der aktuellen Implementierung nur schwer abgebildet werden, da Schleifen als Konstrukte nicht zur Verfügung stehen. Stattdessen müssen zu wiederholende Abläufe mehrfach und explizit modelliert werden. Dies führt zu Redundanz, erhöht die Komplexität der Modelle und erschwert deren Wartbarkeit.

In klassischen Programmiersprachen wird das Problem der Wiederholung durch die Verwendung von Schleifenkonstrukten gelöst, welche eine kompakte und dynamische Modellierung ermöglichen. In grafischen Editoren ohne native Unterstützung von Schleifen ist es hingegen notwendig, Prüfungen statisch und mehrfach abzubilden. Eine pragmatische Lösung besteht darin, Prüfungen mehrfach auszuführen oder die zu wiederholenden Abläufe manuell zu duplizieren und diese mit bedingten Verzweigungen zu Verbinden. Dies ist jedoch oft nicht praktikabel, da Prüfungen häufig an variable oder unvorhersehbare Bedingungen angepasst werden müssen. Die einzige Möglichkeit, um dynamische Daten während einer Prüfung effizient und wartbar zu bearbeiten, besteht darin, ein Schleifenkonstrukt in das bestehende System zu integrieren. Daraus ergibt sich ein klares Interesse, entsprechende Erweiterungen zu konzipieren und zu implementieren.

Im Laufe der Bachelorarbeit sollen mehrere Möglichkeiten konzipiert und implementiert werden, welche es ermöglichen sollen dynamischen Daten innerhalb einer Prüfung zu verarbeiten. Dafür muss im Vorfeld das zugrunde liegende System analysiert und bearbeitet werden, sodass Zyklen vom System verarbeitet werden können. Nach der Implementierung sollen diese bewertet werden.

## 1.2 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit setzt sich aus TODO nachfolgenden Kapiteln zusammen. Im zweiten Kapitel TODO Anschließend daran wird im dritten Kapitel TODO Darauf aufbauen wird im vierten und fünften Kapitel TODO Der Fokus im letzten Kapitel liegt auf TODO

## 2 Terminologie

Der Fokus dieses Kapitels liegt auf der Definition zentraler Fachbegriffe um dadurch einen einheitlichen terminologischen Rahmen zu schaffen. Das Ziel dieses Kapitels ist es die Verständlichkeit der nachfolgenden Kapitel zu erhöhen und die theoretischen Grundlagen der Arbeit zu festigen.

### Schleifen

Eine Schleife ist eine Kontrollstruktur, die einen Programm-Abschnitt mehrmals ausführt. [?] Häufig ist diese dabei die zeitintensivste Komponente eines Programms, da ihre Ausführung sehr viel Zeit in Anspruch nehmen kann. [?] Der Algorithmus dieser Kontrollstruktur kann dabei iterativ oder rekursiv implementiert werden. Ersteres wiederholt die Schleife mehrmals. Hingegen die Rekursion sich mehrmals selbst aufruft. [?] Zur Umsetzung verwendet die Iteration einen Akkumulativenansatz. Dabei wird das Problem schrittweise gelöst. Der Prozess wird solange wiederholt bis eine vordefinierte (Abbruch-)Bedingung erfüllt ist. [?] Im Gegensatz zur Iteration verwendet die Rekursion keinen Akkumulativenansatz, sondern zerlegt das Problem in mehrere (Teil-)Probleme. Für die Teilprobleme werden dann einzelne Lösungen erarbeitet, welche im Anschluss wieder kombiniert werden um das eigentliche Problem zu lösen. [?] Laut Chen L. spiegelt die Iteration das menschliche Denken wieder, weshalb sie sich besonders für lineare Probleme eignet. Die Rekursion hingegen ist für Probleme geeignet, welche Zwischenergebnisse oder Teillösungen benötigen. [?] Eine Schleife kann dabei in zeitabhängig oder horizontal unterteilt werden. Bei einer zeitabhängigen Schleife hängt das Ergebnis des aktuellen Schleifendurchlaufs vom Ergebnis des vorherigen Schleifendurchlaufs ab. Andererseits sind die Ergebnisse der Schleifendurchläufe bei der horizontalen Schleife unabhängig voneinander. [?]

### Domain Specific Language

Bei einer domänenspezifische Sprache (DSL) handelt es sich um eine Programmiersprache, die mit dem Ziel entwickelt wurden ist, spezifische Aufgabenstellungen innerhalb eines begrenzten Anwendungskontexts (Domaine) besonders effektiv zu lösen. [?] DSLs bilden das Gegenstück zu General-Purpose Languages (GPL) wie Java, C++ oder Python. [?] Anders als bei GPLs verfügen DSLs oftmals über eine reduzierte Syntax, die ausschließlich für den jeweilige Domaine relevant ist. Teilweise wird diese durch eine GPL ergänzt. [?] Es wird zwischen externen und internen DSLs unterschieden. Externe DSLs haben ihre eigene Syntax. Dadurch kann eine größere Flexibilität geschaffen werden, aber zeitlich ist der Aufwand für den Entwickler sehr hoch, weil alle relevanten Tools selbst implementieren muss. Außerdem braucht der Benutzer länger Zeit um die Syntax zu lernen. [?] Zur Laufzeit wird die externe DSLs dann in eine GPL übersetzt. [?] Interne DSLs verwenden die Syntax einer GPL und kann über eine Programmierschnittstelle oder Bibliothek aufgerufen werden. [?] Die

Vorteile von DLSS liegen in ihrer strukturellen Klarheit und Spezialisierung. Dem gegenüber stehen die Nachteile eines hohen Initialaufwands sowie einer begrenzten Flexibilität und Verfügbarkeit. [?]

### **Visual Programming Language**

Visuelle Sprachen (VL) sind Sprachen, bei denen die Informationsdarstellung primär über grafische Elemente und nicht über textuelle Komponenten erfolgt. [?] Dabei werden hauptsächlich grafische Tools und visuelle Metaphoren verwendet. Bilder eignen sich besonders gut zum Programmieren, weil Bilder ausdrückstärker als Worte sind und haben einen höheren Wiedererkennungswert. Durch die eingeschränkte Syntax sind VLs nicht so flexibel und ausdrückstark wie Text-basierte Sprachen. [?]

Eine spezielle Form visueller Sprachen stellen die visuellen Programmiersprachen (VPL) dar, bei denen grafische Darstellungen gezielt für die Erstellung von Programmen genutzt werden. Das Hauptziel VPL besteht in der Verbesserung der Darstellung der Programmierlogik sowie in der Erleichterung des Verständnisses von Programmabläufen. [?] Dadurch soll der Fokus des Programmierens stärker auf konzeptuelle statt syntaktische Aspekte verlagert werden. Die syntaktischen Aspekte werden von der Entwicklungsumgebung übernommen. [?] Die Umsetzung von Programmen erfolgt durch die Möglichkeit, Programme in Form von Flussdiagrammen zu erstellen, die unmittelbar vom System interpretiert und ausgeführt werden können. [?] Nach Charntaweechun bieten Flussdiagramme einen didaktischen Vorteil, da sie es insbesondere Programmieranfängern ermöglichen, komplexe Abläufe visuell zu erfassen und zu strukturieren. [?] Im Gegensatz zu GPLs, die eine freie textuelle Eingabe haben, verwenden VPLs nur eine begrenzte Menge an vordefinierten grafischen Elemente. Infolgedessen wird die Lesbarkeit erhöht und syntaktische Fehler reduziert.[?] Die Klassifikation visueller Programmiersprachen unterscheidet zwischen imperativen und deklarativen Modellen. Ersteres gibt die exakte Reihenfolge der Operationen vor, während letzteres lediglich Datenabhängigkeiten spezifiziert und die Ausführungsreihenfolge dem System überlasst.[?] Die Stärken von VPLs liegen in ihrer Einfachheit, visuelle Darstellbarkeit, Transparenz und Interaktivität.[?] Visuelle Programmiersprachen (VPLs) basieren überwiegend auf einem datenflussgesteuerten Modell, bei dem die Strukturierung von Programmen durch den Austausch von Informationen zwischen Operatoren erfolgt. [?] Zusammengefasst kann man sagen, dass VPLs die Vorteile von Flussdiagrammen und nicht die Nachteile der klassischen Programmierung kombiniert. [?]

### **Datenfluss-basierte Sprachen**

Als Datenfluss-basierte Sprache (DL) wird eine Programmiersprache verstanden, bei der die Daten zwischen Funktionen weitergeleitet werden. Die Programme werden dabei als Graphen dargestellt. [?] Der zugrunde liegende Programmgraph ist als gerichteter Graph (DG) definiert, wobei Funktionen als Knoten

dargestellt werden, die durch gerichtete Kanten miteinander verbunden sind. Die Richtung der Kanten spiegelt die Datenabhängigkeiten wieder.[?] Datenflussgraphen lassen sich hinsichtlich ihrer Granularität in feinkörnig und grobkörnig unterteilen. In einem feinkörnigen Graphen führt jeder Knoten exakt eine Instruktion aus, während grobkörnige Graphen mehrere Instruktionen pro Knoten ausführen können.[?] Neben der Granularität lässt sich ein Datenflussgraph auch in Zyklenstrukturen unterteilen. Dabei wird zwischen zyklisch und azyklisch unterschieden. [?] DLs sind überwiegend funktional geprägt, aber können auch text-basiert sein. [?] Der Vorteil einer DLs ist, dass diese durch einen Graphen dargestellt werden können [?] und dadurch die Programme einfach zu verstehen sind. [?] Für komplexe Programme kann eine reine Graphendarstellung schnell unübersichtlich werden. Zur Strukturierung komplexer Programme werden Mikrofunktionen eingesetzt, bei denen einzelne Knoten auf untergeordnete Teilgraphen verweisen. Dadurch lassen sich dann auch rekursive Abläufe modellieren. [?] DLs führen Instruktionen nicht in einer festen Sequenz aus. Dadurch können unabhängig voneinander ausführbare Instruktionen parallel verarbeitet werden. [?] Diese Form der Ausführung ermöglicht eine Effizienzsteigerung, da der Ablauf nicht mehr durch einen zentralen Programmzähler gesteuert wird. [?]

Johnston et. al beschreiben in ihrer wissenschaftlichen Arbeit eine Menge von Eigenschaften. So sollen DLs frei von Seiteneffekten sein, den Lokalitätsprinzip folgen und keine Variablen überschreiben.[?]

Eine Computerarchitektur, die auf DLs basiert, wird Datenfluss-basiertes System (DFA) genannt. DFS wurde eingeführt um den Flaschenhals der von-Neumann-Architektur zu vermeiden. [?]

Je nach Implementierung kann nur lokaler Speicher verwendet werden. [?] Bei den Ergebnissen erfolgt eine direkte Datenweitergabe zwischen Funktionen, wobei Transformation und Filterung integraler Bestandteil der Verarbeitung sind. [?]

DFA-Systeme zeichnen sich durch eine hohe Effizienz, flexible Strukturen und leistungsstarke Ausführungsmechanismen aus. [?] Ein weiterer Vorteil besteht im möglichen Parallelismus. Da bei fehlender Datenabhängigkeit mehrere Instruktionen gleichzeitig ausgeführt werden können. [?] Innerhalb von DFA-System wird zwischen daten- und bedarfgetriebener Ausführung unterschieden. Ersteres führt die Funktionen aus, sobald alle benötigten Operanden vorhanden sind und ein Signal vorliegt. Hingegen bei der bedarfgetriebenen Ausführung die Funktion bereits ausgeführt wird, sobald die Operanden vorhanden sind. [?] Aus dem Grund kann die datengesteuerte Ausführung als Spezialfall einer bedarfsgesteuerten Ausführung angesehen werden, bei der ein Bedarf an allen Ergebnissen von vorneherein besteht. [?]

## 3 Systemanalyse

In diesem Kapitel wird das System hinsichtlich seiner strukturellen und funktionalen Eigenschaften analysiert. Zunächst wird die zugrundeliegende Grammatik betrachtet, woraufhin die Ausführungslogik beschrieben wird. Abschließend werden die problematischen Stellen im Hinblick auf die geplante Erweiterung analysiert. Ziel dieses Kapitels ist es, diese problematischen Stellen zu erfassen und aufzubereiten, um eine Grundlage für die folgenden Kapitel zu schaffen.

### 3.1 Grammatik

Die Grammatik der domainspezifischen Sprache lässt sich Formal in drei Ebenen unterteilen. Die oberste Ebene ist die Prüfungslogik, die mittlere Ebene ist die Datenverarbeitung und die letzte Ebene ist das Typsystem. [?] Ersteres beschreibt die benötigten Aktionen und Entscheidungen für eine Prüfung. [?] Hingegen die Datenverarbeitung für die Definition von Datentransformationen zuständig ist und eine von mehreren Aktionstypen darstellt. [?] Im Gegensatz dazu kümmert sich das Typsystem um die statische Analyse der Ausführbarkeit der vorangegangenen Ebenen. [?]

#### 3.1.1 Prüfungslogik

Die in Abbildung TODO abgebildeten Regeln beschreiben das Aktivitätsmodell, die der Prüfungslogik entspricht. [?] Zentral ist dabei die Regel *ActivityModel*, welche festlegt, dass ein Aktivitätsmodell aus mehreren Aktivitäten und Verbindungen besteht. Die Verbindung referenziert dabei zwei Aktivitäten und hat auch eine Bezeichnung, die als TODO. Die Regel *Activity* beschreibt die möglichen Aktivitäten innerhalb des Aktivitätsmodells. Dabei kann eine Aktivität entweder eine Startmarkierung, ein Vergleich, eine Aktion oder ein Label sein.

Ein Vergleich kann entweder ein Binärvergleich oder ein Validierungsvergleich sein. Ersteres besteht dabei aus einer Referenz auf ein Flowtemplate, das eine Datenverarbeitung ist, gefolgt von einem Operator und zwei Argumenten. Als Operatoren stehen = und  $\neq$  sowie Relationale Operatoren zur Verfügung. Der Validierungsvergleich hingegen besteht nur aus einer Menge von TODO.

Bei den Aktionen wird zwischen Hauptuntersuchungs-Adapter Anfragen, lesen von JSON-Dateien und Ausführung einer Datenverarbeitung unterschieden. Der Aufbau einer Hauptuntersuchungs-Adapter Anfrage umfasst dabei den Namen der auszuführenden Anfrage, eine Beschreibung, eine Liste mit anzusprechenden Systemen im Fahrzeug und eine maximale Ausführungsdauer. Im Gegensatz dazu setzt sich das lesen von JSON-Dateien aus dem Datentyp der zu lesenden Datei und einer URI zu der Datenquelle zusammen. Die letzte Aktionsform, die Ausführung einer Datenverarbeitung, besteht aus einem Verweis auf einem FlowTemplate, gefolgt von einer Beschreibung der Eingaben, die für die Datenverarbeitung erforderlich sind, sowie einer Transformation, die beschreibt wie das Ergebnis weiterverwendet werden soll. Die Beschreibung der Eingaben

setzt sich aus den Symbolen ActivityPortValue und TemplateParameterValue zusammen.

Die Struktur eines Label wird durch eine Kombination aus einer Beschriftung, einer Farbe und einem Verweis auf eine Aktion beschrieben.

$$\begin{aligned}
\langle ActivityModel \rangle &::= \langle Activity \rangle^* \langle ActivityConnection \rangle \\
\langle Activity \rangle &::= \langle ActivityStart \rangle \mid \langle ActivityAction \rangle \mid \langle ActivityCondition \rangle \mid \langle ActivityDisplay \rangle \\
\langle ActivityConnection \rangle &::= \text{ref}(\text{Activity source}) \langle string label \rangle \text{ref}(\text{Activity target}) \\
\langle ActivityStart \rangle &::= \epsilon \\
\langle ActivityAction \rangle &::= \langle ActivityFlowCall \rangle \mid \langle ActivityPitaBuildInforRequest \rangle \mid \langle ActivityLoadExternalData \rangle \\
\langle ActivityFlowCall \rangle &::= \text{ref}(\text{FlowTemplate}) \langle ActivityPortValue \rangle^* \langle TemplateParameterValue \rangle^* \\
&\quad \langle ValueTransformation \rangle^* \\
\langle ActivityPitaBuildInforRequest \rangle &::= \langle string abdFilename \rangle \langle string requestAlias \rangle \\
&\quad \langle string expectedSystems \rangle^* \langle number timeout \rangle \\
\langle ActivityLoadExternalData \rangle &::= \langle Type dataType \rangle \langle string dataSource \rangle \\
\langle ActivityPortValue \rangle &::= \langle FlowPortValue \rangle \mid \langle ActivityPortRefernce \rangle \\
\langle FlowPortValue \rangle &::= \langle string \rangle \mid \langle number \rangle \mid \langle bool \rangle \mid \langle date \rangle \mid \langle FlowPortValue \rangle^* \\
\langle ActivityPortRefernce \rangle &::= \text{ref}(\text{ActivityAction}) \langle ValueTransformation \rangle^* \\
\langle ValueTransformation \rangle &::= \langle string objectReference \rangle \mid \langle number listIndex \rangle \\
\langle ActivityCondition \rangle &::= \langle ActivityBinaryCondition \rangle \mid \langle ActivityValidityCondition \rangle \\
\langle ActivityBinaryCondition \rangle &::= \text{ref}(\text{FlowTemplate}) \langle ActivityBinaryConditionOperator \rangle \\
&\quad \langle ActivityPortValue left \rangle \langle ActivityPortValue right \rangle \\
\langle ActivityValidityCondition \rangle &::= \langle ActivityPortValue \rangle^* \\
\langle ActivityBinaryCondition \rangle &::= '=' \mid '\neq' \mid '<' \mid '\leq' \mid '>' \mid '\geq' \\
\langle ActivityDisplay \rangle &::= \langle ActivityDisplayField \rangle^* \\
\langle ActivityDisplayField \rangle &::= \langle string label \rangle \langle string color \rangle \text{ref}(\text{ActivityAction})
\end{aligned}$$

**Grammatik TODO** Aktivitätsmodell

### 3.1.2 Datenverarbeitungs

Die in Abbildung TODO dargestellten Regeln definieren die Struktur einer Flow-Instanz. Dabei kann eine Flow-Instanz als konkreten Aufruf einer Funktion interpretiert werden. Dabei legt Regel *FlowInstance* fest, dass eine Flow-Instanz aus mehreren Eingabe- und Ausgabeports sowie einer Menge von Funktionen höherer Ordnung besteht. Der Aufbau einer Funktion höherer Ordnung umfasst wiederum zusätzliche Eingabe- und Ausgabeports. Ein Port besteht aus einem Namen, gefolgt vom Datentyp des Ports und einem Wahrheitswert der Angibt ob an diesem Port Fehler erlaubt sind.

$$\langle \text{FlowInstance} \rangle ::= \langle \text{FlowOutputPort } \lambda \text{Arguments} \rangle^* \langle \text{FlowInputPort } \lambda \text{Arguments} \rangle^* \langle \text{FlowLambda} \rangle^*$$

$$\langle \text{FlowLambda} \rangle ::= \langle \text{FlowOutputPort } \lambda \text{Arguments} \rangle^* \langle \text{FlowInputPort } \lambda \text{Arguments} \rangle^*$$

$$\langle \text{FlowInputPort} \rangle ::= \langle \text{string name} \rangle \langle \text{Type} \rangle \langle \text{bool acceptsError} \rangle$$

$$\langle \text{FlowOutputPort} \rangle ::= \langle \text{string name} \rangle \langle \text{Type} \rangle \langle \text{bool producesError} \rangle$$

#### Grammatik TODO Flow-Instanz

Ein Flowtemplate wird durch die in Abbildung TODO spezifizierten Regeln beschrieben. Das FlowTemplate wird dabei durch eine Funktion *Flow* und eine Menge von TemplateParametern definiert. Bei den TemplateParameter wird zwischen einer Zeichenkette, Zahlen oder einem Wahrheitswert unterschieden. Diese Parameter beeinflussen die automatische Generierung der Port-Struktur sowie der internen Verarbeitungslogik eines Flows. [?] Die Funktionen lassen sich in vordefinierte *LibraryFlow* und eigene erstellten Funktionen *FlowModel* unterteilen.

$$\langle \text{FlowTemplate} \rangle ::= \langle \text{Flow} \rangle \langle \text{TemplateParameter} \rangle^*$$

$$\langle \text{Flow} \rangle ::= \langle \text{LibraryFlow} \rangle \mid \langle \text{FlowModel} \rangle$$

$$\langle \text{LibraryFlow} \rangle ::= \epsilon$$

$$\langle \text{TemplateParameter} \rangle ::= \text{'String'} \mid \text{'Number'} \mid \text{'Bool'} \mid \langle \text{TemplateParameterList} \rangle$$

$$\langle \text{TemplateParameterList} \rangle ::= \langle \text{TemplateParameter} \rangle$$

#### Grammatik TODO Flow-Template

Die Regeln des FlowModel sind in Abbildung TODO formal dargestellt. Das FlowModel entspricht dabei der Datenverarbeitung. [?] Durch die Regel *Flow-Model* wird bestimmt, dass ein FlowModel aus einer FlowInstance, einer Auflistung aller genutzten Flow-Node und definition der Verbindungen zwischen den



Eingabe- und Ausgabeports. Bei den Flow-Node wird zwischen Verweis auf Eingabeports, Verweis auf Lambda-Funktionen, Verweis auf Funktion mit Auflistung von Parametern oder Verweis auf Ausgabeports unterschieden. Bis auf das letztere haben alle Flow-Node die Möglichkeit ihre Eingabeports durch konstante Werte zu spezifizieren.

$$\begin{aligned} \langle \text{FlowModel} \rangle &::= \langle \text{FlowInstance} \rangle \langle \text{FlowNode} \rangle^* \langle \text{FlowConnection} \rangle^* \\ \langle \text{FlowNode} \rangle &::= \langle \text{FlowNodeOutput} \rangle \mid \langle \text{FlowNodeInput} \rangle \mid \langle \text{FlowNodeLambda} \rangle \mid \\ &\quad \langle \text{FlowNodeFlowCall} \rangle \\ \langle \text{FlowNodeOutput} \rangle &::= \text{ref}(\text{FlowOutputPort}) \\ \langle \text{FlowNodeInput} \rangle &::= \text{ref}(\text{FlowInputPort}) \langle \text{FlowPortValue} \rangle \\ \langle \text{FlowNodeLambda} \rangle &::= \text{ref}(\text{FlowLambda}) \langle \text{FlowPortValue} \rangle^* \\ \langle \text{FlowNodeFlowCall} \rangle &::= \text{ref}(\text{FlowTemplate}) \langle \text{FlowPortValue} \rangle^* \langle \text{TemplateParameterValue} \rangle^* \\ \langle \text{FlowConnection} \rangle &::= \text{ref}(\text{FlowOutputPort source}) \text{ref}(\text{FlowOutputPort target}) \\ \langle \text{TemplateParameterValue} \rangle &::= \langle \text{string} \rangle \mid \langle \text{number} \rangle \mid \langle \text{bool} \rangle \mid \langle \text{TemplateParameterValueList} \rangle \\ \langle \text{TemplateParameterValueList} \rangle &::= \langle \text{TemplateParameterValue} \rangle^* \end{aligned}$$

**Grammatik TODO Flow-Modell**

### 3.1.3 Typsystem

In Abbildung TODO werden die Regeln des Typsystem dargestellt. Das Typsystem unterstützt Primitive- und Generische-Datentypen, welche an einen Optional-Typen, Listen-Typen oder Objekt-Typen gekapselt werden können. Als Primitiven-Datentypen stehen String, Number und Bool zur Auswahl. Zusätzlich noch Data und PtiaResponse. Ersteres ist eine Datumsangabe. Hingegen PtiaResponse die Antwort von einem Hauptuntersuchungs-Anfrage ist.

$$\begin{aligned} \langle \text{Type} \rangle &::= \langle \text{TypePrimitive} \rangle \mid \langle \text{TypeOptional} \rangle \mid \langle \text{TypeList} \rangle \mid \langle \text{TypeObject} \rangle \\ \langle \text{TypePrimitive} \rangle &::= \text{'String'} \mid \text{'Number'} \mid \text{'Bool'} \mid \text{'Data'} \mid \text{'PtiaResponse'} \\ \langle \text{TypeOptional} \rangle &::= \langle \text{Type} \rangle \text{'?' } \\ \langle \text{TypeList} \rangle &::= \langle \text{Type} \rangle \text{'[]'} \\ \langle \text{TypeObject} \rangle &::= \text{'{' } (\langle \text{string key} \rangle \text{' ':' } \langle \text{Type} \rangle)^* \text{' '}} \end{aligned}$$

$\langle TypeGeneric \rangle ::= '\$' \langle string genericName \rangle$

$\langle TypeReference \rangle ::= \text{ref}(\text{Type})$

**Grammatik TODO** Typ-Definition mit generischen und Referenz-Typen

## 3.2 Ausführung

Im folgenden Abschnitt schauen wir uns an, wie die einzelnen Ebenen ausgeführt werden. Die folgende Zusammenfassung basiert auf der unveröffentlichten Arbeit von Westermann et al.

Die Prüfungslogik.

### Prüfungslogik

Die Prüfungslogik stellt die oberste Ebene einer Prüfung dar und wird als Kontrollfluss modelliert. Als Startpunkt jeder Prüfung fungiert die Startaktivität, die pro Prüfung nur einmal vorkommt. Die Reihenfolge der auszuführenden Aktivitäten wird durch die gerade ausgeführte Aktivität vorgegeben, da jede Aktivität das Label der zu folgenden Kante zurückgibt. Eine Prüfung ist beendet, sobald die auszuführende Aktivität kein Label mehr zurückgibt.

Ein wichtiger Bestandteil der Prüfungslogik ist der Referenzstack. Der Referenzspeicher dient als Speicher für die Ergebnisse der Aktivitäten. Alle Aktivitäten können auf den Referenzstack zugreifen und auf die gespeicherten Ergebnisse referenzieren, um diese als Parameter für ihre Funktionen zu verwenden.

### Datenverarbeitung

Die Ausführung der Datenverarbeitung basiert auf einer Execute-Funktion, die zur Ausführung die Template-Parameter und eine Evaluate-Funktion benötigt. Für die vom System bereitgestellten Funktionen wird die Execute-Funktion direkt in Code implementiert. Die Implementierung nutzt eine Hilfsklasse, die die Evaluate-Funktion bereitstellt und gleichzeitig die Werte der Ausgabeports speichert. Zudem muss die Implementierung sicherstellen, dass der Datenfluss zwischen Eingabe- und Ausgabeports korrekt hergestellt wird. Um dies zu gewährleisten, stellt die Klasse RuntimeContext gewisse Hilfsmethoden zur Verfügung.

Eine wichtige Komponente der Datenverarbeitung ist der Ergebniscache. Im Ergebniscache werden die Werte der Ausgabeports gespeichert. Wird ein Wert für einen Eingabeport benötigt, so wird zunächst die Suche nach dem zugehörigen InputNode sowie der entsprechenden eingehenden Kante. Anschließend wird geprüft, ob für den Ausgabeport, der mit der Kante verbunden ist, ein Wert im Ergebniscache vorliegt. Ist dies nicht der Fall, wird die Funktion des Knotens ausgeführt und der Wert für den Ausgabeport im Ergebniscache gespeichert.

Nicht nur für die normalen Funktion spielt der Ergebniscache eine große Rolle, sondern auch für die Lambda-Funktionen. Wenn ein Wert für einen Eingabeport einer Lambda-Funktion benötigt wird, wird zunächst der Wert der Ausgabeports, falls vorhanden, in dem Ergebniscache gespeichert. Im Anschluss daran wird für alle Funktionen, die im Kind-verhältnis zur Lambda-Funktion stehen, das Ergebnis im Ergebniscache invalidiert, indem das Ergebnis aus dem Ergebniscache gelöscht wird. Anschließend wird der oben beschriebene Algorithmus verwendet, um die Werte für die Eingabeport der Lambda-Funktion zu berechnen.

Als erstes werden alle Referenzen auf Flow-Templates aufgelöst, damit wir die Flow-Instanz erhalten. Sobald die Flow-Instanz erstellt ist, ist bekannt, welche Ports und Lambdas bei dem Funktions-Aufruf existieren und es werden Objektreferenzen zwischen den Ports erstellt. Die Objektreferenzen sollen die Modell Analyse erleichtern und beinhalten Informationen über die Verbindung. Daraufhin werden die Referenz-Typen aufgelöst, indem diese durch konkrete Typen ersetzt werden. Nun kann mit der eigentlichen Validierung angefangen werden. Die Validierung wird pro Flow-Modell ausgeführt und es wird mit dem Flow-Modell angefangen, welches am wenigsten Abhängigkeiten auf andere Flow-Modelle hat. Bei der Prüfung wird über alle Verbindungen von Ports iteriert und falls ein generischer Typ vorkommt, wird diese Typ-Zuweisung gespeichert. Im Anschluss werden die Ports des Flow-Modells überprüft und versucht die generischen Typen aufzulösen. Generische Typen, welche nicht aufgelöst werden konnten, werden dann beim Flow-Aufruf aufgelöst. Vorausgesetzt die nicht zu auflösenden Typen sind Teil der Argumente und Ergebnisports des Flow-Modells. Abschließend werden die Verbindungen von Flow-Ports validiert, indem diese auf Zuweisungskompatibilität überprüft werden, bei den übrig gebliebenen generischen Typen kommt es zu keinen Problemen, weil generische Typen in beide Richtungen zuweisungskompatibel sind.

Als erstes muss eine Sortierung der Funktionen stattfinden, dabei werden zuerst die Abhängigkeiten der Funktion überprüft. Nachdem die Sortierung abgeschlossen ist, werden die Verbindungen auf Port-Fehler überprüft. Falls der Ausgabeport ein Fehler projiziert verursacht und der Verbundene Eingabeport keinen Fehler verarbeiten, dann gibt die Funktion des Eingabeports nicht ausgeführt und die Funktion gibt den Fehler als Ergebnis aus.

Um zu überprüfen ob das Aktivitätsmodell valide ist, wird ein Typen-Referenzstack verwendet. Dabei wird das ganze Modell durchlaufen und für jede Aktivität der Stack berechnet. Bei der Berechnung wird die Schnittmenge über den Referenzstack der direkten Vorgänger Aktivitäten gebildet. Im Anschluss wird der Stack durch die auszuführende Aktivität erweitert. Zum Beispiel erweitert eine Aktionsaktivität den Stack um einen Typen. Hingegen Entscheidungsaktivität Einträge bearbeiten oder präzisieren können. Beispielweise werden bei einer erfolgreichen Validierungsentscheidung die betroffenen Typen im Stack konkretisiert. Dadurch sollen die Optionalen-Typ entfernt werden.

Im Anschluss können dann die Nodes validiert werden. Bei der Validierung wird geprüft ob das Argument `<boolacceptsError>` der `<FlowNodeInput>` den gleichen Wert wie der Referenzierte `<FlowInputPort>` hat. Ist das nicht der Fall

wird eine Fehlermeldung für das Flow-Modell ausgegeben.

### 3.3 Codeanalyse

Die aktuelle Umsetzung des Codes ermöglicht es aktuell nicht die geplante. Konkret lassen sich zwei Probleme aus der aktuellen Umsetzung ableiten:

- P1 Die Modellanalyse erlaubt keine Zyklen im Graphen
- P2 Die Ausführungsumgebung geht davon aus, dass Zyklen nicht erlaubt sind

#### **P1 - Die Modellanalyse erlaubt keine Zyklen**

Aktuell wird in der Klasse `ActivityCycleCheckResolver` überprüft, ob im Graphen Zyklen vorhanden sind. Die Überprüfung erfolgt dabei mithilfe des `TODO` Algorithmus. Der Algorithmus markiert als erstes in einem Dictionary alle Knoten des Graphen als nicht besucht. Anschließend wird eine Tiefensuche über alle Knoten gemacht und jeder Knoten wird in eine Liste hinzugefügt. Dabei werden die Nachfolgenden Knoten als erstes der Liste hinzugefügt. Es erfolgt also ein topologisches Sortieren nach Post order. Auf der topologischen sortierten Liste wird eine erneute Tiefensuche durchgeführt, die für jeden erreichbaren Knoten einen Komponent mit der gemeinsamen Wurzel (root) erstellt. Dabei werden Komponenten als erstes für alle Vorgänger Knoten erstellt. Nun wurden alle zusammenhängende Elemente des Graphens gefunden und die zusammenhängende Elemente können in einem Dictionary übertragen werden. Dabei wird der root der Schlüssel eines Dictionary Elements sein und der Value der Knoten. Hat ein Dictionary Element mehr als ein Element im Value ist ein Zyklus vorhanden und diese Dictionary Element wird in einem anderen Dictionary gespeichert, welches zum erstellen von Fehlermeldungen verwendet wird

Hier liegt auch das Problem. Wenn ein Zyklus erlaubt ist, darf das Dictionary Element nicht in das Dictionary für die Fehlermeldung gespeichert werden, sondern dieser Schritt muss übersprungen werden.

#### **P2 - Die Ausführungsumgebung geht davon aus, dass Zyklen nicht erlaubt sind**

In der Klasse `VirtualMachineCompilerActivity` wird das Modell in eine kompilierte Darstellung überführt. Die Überführung funktioniert in der aktuellen Umsetzung so, dass eine Funktion erstellt wird und alle Knoten des Graphens nacheinander hinzugefügt wird. Bei einer Verzweigung wird eine extra Funktion erstellt, die ab dem Punkt automatisch `TODO`. Bei einer Vereinigung werden die Funktionen wieder zu einer gemerget. Es wird aktuell nicht erkannt, ob der Knoten bereits hinzugefügt wurden ist.

Hier liegt auch das Problem. Wenn Zyklen nun erlaubt sind, würde eine Endlosschleife entstehen, weil der Algorithmus den bereits hinzugefügten Teilgraphen erneut hinzufügen. Es muss also eine Möglichkeit geschaffen werden, dass mehrere TODO

## 4 TODO

### 4.1 Anforderungsphase

Die geplante Erweiterung sieht die Einführung von zwei Schleifenblock vor, die die Wiederholung von Aktivitäten ermöglichen sollen. Dadurch soll es möglich sein Prüfungen mit dynamischen Daten zu erstellen. Die Interaktion erfolgt über die bereits vorhandene grafische Benutzeroberfläche, in dieser kann der Benutzer die Anzahl der maximalen Iterationen und die Abbruchbedingung festlegen. Beide Blöcke sind von der Benutzeroberfläche gleiche und unterscheiden sich nur in der Logik. Dabei soll der Schleifenblock dem TODO ähneln. Der Schleifenblock hat einen onFalse und einen onTrue Pfad, welcher Pfad genommen wird wird durch die Abbruchbedingung bestimmt. Bei der Ausführung entscheidet der onFalse Zweig über eine mögliche Wiederholung. Die Entscheidung vom Block A basiert dabei auf die Anzahl der bereits ausgeführten Iteration. Hingegen Block B zusätzlich die Eingaben als Kriterium miteinbezieht. Der onTrue-Zweig führt zur beendigung des Schleifenblocks.

### 4.2 Entwursphase

Im vorherigen Unterkapitel wurde der Aufbau der Schleifenblöcke beschrieben. Nun wird die technische Umsetzung beschrieben. Der Fokus wird dabei auf die Logik für die Entscheidung ob eine Wiederholung stattfindet oder nicht. Die beiden Schleifenblöcke, Block A und Block B, werden im folgenden einzeln betrachtet, da sie unterschiedliche Logiken haben.

Durch die einföhrung des Schleifenblocks können Probleme entstehen, welches zu einem nicht gewollten Veralten föhren können. Es ist möglich, dass Endlosschleifen entstehen können.

#### **Block A**

Block A soll die Wiederholung von Aktivitäten durch explizite Ausführung ermöglichen. Zur umsetzung dieses Ziels wird die Schleifenentfaltung als Grundlage verwendet. Unter Schleifenentfaltung versteht man, dass die Instruktionen im Schleifenkörper mehrmals pro Iteration auszuföhrte wird, um dadurch die häufigkeit der Iterationen zu verringern. [?] Anstatt rekursive oder iterative Wiederholungen zu verwenden, wird jede potenzielle Iteration als eigenständigen und bedingten Codeblock realisiert. Dazu muss eine Anpassung an der klassischen Schleifenentfaltungsvorgehen vorgenommen werden. Das Ziel der modifizierung ist es, die Schleifen solange zusammenzufassen bis kein erneuter Schleifendurchlauf notwendig ist und dadurch den Kontrollfluss durch Verzweigungen und verschtelungen ohne Iterationen abzubilden. Da die maximale Anzahl an Schleifendurchläufen von vorneherein bekannt ist, kann für jede potenzielle Ausföhren des Schleifenkörpers eine Kopie erstellt werden. In jeder Kopie wird der Schleifenkörper ausgeföhrte und anschließend um die Abbruchbedingung der Schleife ergänzt. Im Falle

einer erfüllten Abbruchbedingung wird hingegen keine weitere Kopie ausgeführt. Stattdessen wird die Ausführung gemäß dem vorgesehenen Kontrollfluss fortgesetzt. Auf Abbildung TODO wurde der Ansatz Graphisch dargestellt. In Abbildung TODO wird dieser Ansatz an einem konkreten Beispiel veranschaulicht. Im Beispiel soll "foo" drei mal einzeln auf der Console ausgegeben werden. In der oberen Schleife hingegen in der unteren Schleife der modifizierte Ansatz verwendet wurden ist. Da die untere Schleife nur noch genau einmal ausgeführt wird, kann diese einfach weggelassen werden.

## Block B

Block B soll die Wiederholung von Aktivitäten durch iterative Schleifen ermöglichen. Ist die Abbruchbedingung nicht erfüllt, wird Entschieden ob eine Wiederholung stattfindet oder nicht. Dabei wird geschaut wie sich das dynamische Datum über die Iteration hinweg verhält. Es wird überprüft, ob die Anzahl der Iterationen bereits die maximale Anzahl an Iteration überschritten hat oder der Chancen-Zähler den Wert 0 erreicht hat. Da der Vergleich auf Mittelwerten basiert, müssen die Eingaben in einen Gleitkommawert umgewandelt werden. Zunächst wird dafür die Eingabe in eine Zeichenkette umgewandelt und anschließend versucht als Gleitkommazahlen zu interpretieren. Schlägt die Interpretation fehl, handelt es sich nicht um eine Zahl. In dem Fall muss die Zeichenkette zeichenweise mithilfe von UTF-8 in eine Dezimalzahl überführt werden. UTF-8 bietet sich zur Umwandlung an, da es bereits eine eindeutige und standardisierte Codierung für über 1,1 Millionen Unicode-Zeichen bereitstellt und somit keine zusätzliche Festlegung eines eigenen Codierungsschemas erforderlich ist. Die einzelnen Zahlen werden dann mit ihren Index multipliziert und im Anschluss addiert. Der Schritt mit der Multiplizierung ist notwendig, weil die Addition kommutativ ist und somit keine Berücksichtigung der Zeichenfolge erfolgt, wird durch Multiplikation mit der Zeichenposition eine positionsabhängige Gewichtung sichergestellt. Die Werte vom Typ double werden anschließend in einer Liste gespeichert, die alle bisherigen Eingaben beinhaltet. Basierend auf dieser Liste wird dann ein Mittelwert über alle bisherigen Werte gebildet und ein gleitender Mittelwert über die letzten 3 Werte. Anschließend wird die Differenz zwischen dem aktuellen Wert und den Mittelwerten gebildet. Ist die Differenz kleiner als ein Threshold wird der Counter dekrementiert. Ist die Differenz gleich oder größer als der Threshold wird der Chancen-Zähler zurückgesetzt. Erreicht der Chancen-Zähler 0 werden keine weiteren Wiederholungen ausgeführt, da der Wert sehr wahrscheinlich stagniert. Der Chancen-Zähler erweist sich als erforderlich, da dieser als Steuermechanismus für die Wiederholungslogik dient und eine Begrenzung der Iterationen bei ausbleibender signifikanter Veränderung sicherstellt. Dadurch soll verhindert werden, dass eine ineffiziente Fortsetzung der Schleife stattfindet. Sollten weniger als 3 Werte in der Ergebnisliste drin sein, wird die Berechnung übersprungen. Dadurch kann gewährleistet werden, dass das System einlaufen kann und die Mittelwerte erst gebildet werden, wenn eine aussagekräftige Datenbasis vorhanden ist.

Auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Blöcke wird im späteren Verlauf eingegangen.



## 5 Implementierung

In diesem Kapitel wird die vorgenommene Implementierung beschrieben. Dabei wird zunächst TODO in Teilbereiche unterteilt und anschließend die funktionsweise der einzelnen Änderungen erklärt. Als Grundlage für dieses Kapitel werden die vorangegangenen Kapitel dienen insbesondere Kapitel TODO. Das Ziel ist es die Implementierung verständlich und nachvollziehbar zu machen.

Zur Umsetzung der Wiederholungslogik im Block B wurden vier Klassen definiert. Dabei handelt es sich unter anderem um die Klasse DeviationChecker, die in Abbildung TODO dargestellt ist.

Ziel der Klasse ist es den Mittelwert zu berechnen und die Differenz zum aktuellen Wert auf ihren Schwellenwertüberschreitung hin zu überprüfen. Zur Umsetzung dieser Funktionalität hat DeviationChecker eine Mittelwert-Variable vom Datentyp Double sowie die drei Methoden calculate, calculateMean und isDeviationWithinThreshold.

Die Methode calculateMean übernimmt die Berechnung des aktuellen Mittelwerts, indem über die Liste der Eingaben iteriert wird und diese aufsummiert werden. Der berechnete Summenwert wird durch TODO geteilt und anschließend als Rückgabewert zurückgegeben.

Mit Hilfe der Methode isDeviationWithinThreshold wird die Differenz berechnet und überprüft ob die Differenz den Schwellenwert unterschreitet. Dies erfolgt durch die Berechnung des Betrags der Differenz zwischen Mittelwert und dem aktuellen Wert. Je nach Ergebnis wird dann ein entsprechender Wahrheitswert zurückgegeben.

Der Ablauf der Klasse wird in der Methode calculate gesteuert. Hier wird zunächst überprüft, ob die anderen Methoden aufgerufen werden soll. Der Algorithmus wird lediglich bei Vorhandensein von mindestens drei Werten in der Eingabeliste gestartet. Ist dies der Fall wird die Methode calculateMean aufgerufen und dessen Rückgabewert in die Mittelwert-Variable gespeichert. Im Anschluss erfolgt der Aufruf von isDeviationWithinThreshold, dessen Rückgabewert von calculate zurückgegeben wird.

Ein andere Klasse ist Counter. Diese dient der Verwaltung zweier Zählerwerte: chance und counter. Der Zugriff auf diese Variablen erfolgt nach dem Prinzip der Datenkapslung. Zur Funktionalität stehen Methoden zum Verrigern (decreaseChance und decreaseCounter), Zurücksetzen (resetChance) sowie Setzen und Auslesen (setCounter, getCounter, getChance) der Zählerwerte zur Verfügung.

Mit der Klasse StringToDoubleConverter wird ein String in einen Double-Wert umgewandelt. Um dies zu ermöglichen stellt die Klasse verschiedene Variable zur Verfügung, darunter eine Variable für den Zähler der Schleife, einen für die Bytes und einen für den umgewandelten Wert. Die Methode StringToDouble

konvertiert die Zeichenkette, indem sie zunächst die Zeichenkette in UTF-8 kodierte Bytes umgewandelt. Anschließend werden die Bytes mit einem fortlaufenden Index multipliziert und auf einen Akkumulator addiert. Der akkumulierte Wert wird im Anschluss als Rückgabewert zurückgegeben.

Die letzte der vier Klassen ist `InputProcessor`. Diese ist für die Verarbeitung der Eingabewerte zuständig. Zur Verarbeitung stehen mehrere interne Datenstrukturen und konstanten zur Verfügung, darunter zwei Listen zur Speicherung der Roh- und Konvertierungswerte sowie Parameter zur Konfiguration (`HistoryLength` und `deviationThreshold`) und eine Instanz der Klasse `Counter`. Die Methode `processInput` übernimmt `TODO` und überprüft zunächst ob eine weitere Verarbeitung zulässig ist. Als Kriterium dafür wird der aktuelle Stand der Klasse `Counter` herangezogen. Ist eine weitere Verarbeitung zulässig wird zuerst `TODO` und der Eingabewert mithilfe der Methode `storeInput` in eine Liste gespeichert. Anschließend wird der Eingabewert mit der Methode `convertInputToDouble` in einen `Double`-Wert konvertiert. Dieser Wert wird nach der Konvertierung dann in eine Liste gespeichert. Im Anschluss daran wird mithilfe der Methode `validateDeviation` der konvertierte Wert auf eine mögliche Abweichung hin überprüft. Als letzter Schritt der Verarbeitung wird der Zähler dekrementiert.

Die Methode `convertInputToDouble` `TODO`. Ist dies nicht möglich, wird der Eingabewert mit der Methode `StringToDouble` aus der Klasse `StringToDoubleConverter` in einen `Double`-Wert konvertiert. Als Rückgabewert wird der `Double` zurückgegeben.

Mithilfe der Methode `validateDeviation` wird überprüft, ob der Eingabewert eine signifikante Abweichung im Vergleich zur Historie aufweist. Dafür wird zunächst der Index des letzten Elements aus der Liste bestimmt und anschließend die Abweichungsberechnung über die Methode `calcute` der Klasse `DeviationChecker` durchgeführt. Liegt eine signifikante Abweichung vor wird der Zähler resettet. Ist hingegen keine Abweichung vorhanden wird der Zähler dekrementiert.

Damit Zyklen über den Schleifenblock erlaubt sind und es zu keinen Fehler kommt, muss die Zyklenüberprüfung angepasst werden. Wie die Zyklenüberprüfung funktioniert wurde bereits in Kapitel `TODO` beschrieben. Die Änderung am diesem Algorithmus muss an der Stelle stattfinden an der die `TODO`. Hier muss bevor `TODO` geschaut werden ob der Root der Schleifenblock ist. Ist dies der Fall wird der Funktionsaufruf übersprungen. Dadurch wird für die Rückverbindung kein `ComponentEntry` erstellt bei dem root und element ungleich sind. So eine Kombination führt nämlich im weiteren Verlauf dazu, dass ein Eintrag im Fehler Dicentario erstellt wird und dadurch Rückführung ungültig ist. Da der Algorithmus die einzelnen Knoten über IDs identifiziert, muss eine Liste erstellt werden, welche alle IDs der Schleifenblöcke beinhaltet. Bei der Überprüfung wird nun geschaut ob die ID des roots in der Liste ist. Ist

der Root in der Liste handelt es sich um einen Schleifenblock. Um eine Liste mit den IDs zu erstellen, kann eine Kombination aus den Methoden `where` und `select` und kommen aus der statischen Klasse `Enumerable` im Namensraum `System.Linq`. Durch `where` wird TODO gefiltert und mit `select` wird die gefilterte TODO projiziert.

## 6 Evaluation

Das Programm wurde auf einem System mit einem AMD Ryzen 5 2600 mit 6 Kernen und einer Taktrate 3400MHz ausgeführt. Als Arbeitsspeicher waren 2-Mal 8GB DDR4 mit einer DRAM Frequenz von 1065 MHz eingebaut. Als Betriebssystem war Windows 10 in der Version 10.0.19045 BUild 19045 installiert. Als Laufzeitumgebung wurde dotnet 8 eingesetzt.

Zur messen der Ausführungszeit wurde die Klasse Stopwatch verwendet, die eine Menge an Methoden und Eigenschaften bereitstellt um verstrichene Zeit zu messen. Mithilfe der Methoden *Start()* und *Stop()* lässt sich die Stopuhr starten beziehungsweise beenden. Mit der Eigenschaft *ElapsedMilliseconds* lässt sich dann die gemessene Zeit der aktuellen Instanz als long ausgeben.

Hingegen zum messen des Speicherverbrauchs die Klasse GC verwendet wird, die eine Menge von Methoden und Eigenschaften bereitstellt um Speicher zu verwalten. GC hat nicht die Möglichkeit sofort den Speicherverbrauch zu messen, aber mithilfe der Methode *GetTotalMemory()* kann der Speicherverbrauch indirekt berechnet werden. *GetTotalMemory()* gibt nämlich die Heapgrößen ohne Fragmentierung zurück. Wird die Methode vor und nach einer Funktion aufgerufen und die Differenz aus den beiden Zahlen gebildet, dann hat man Speicherverbrauch der Funktion.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] Johnston, W., Hanna, J., & Millar, R. (2004). *Advances in dataflow programming languages*. ACM Computing Surveys, 36(1), 1–34.
- [2] Chen, L. (2021). *Iteration vs. Recursion: Two Basic Algorithm Design Methodologies*. SIGACT News, 52(1), 81–86.
- [3] Arvind, & Culler, D. (1986). *Dataflow Architectures*. LCS Technical Memos.
- [4] Ambler, A., & Burnett, M. (1990). *Visual forms of iteration that preserve single assignment*. Journal of Visual Languages & Computing, 1(2), 159–181.
- [5] Mosconi, M., & Porta, M. (2000). *Iteration constructs in data-flow visual programming languages*. Computer Languages, 26(2), 67–104.
- [6] Fan, Z., Li, W., Liu, T., Tang, S., Wang, Z., An, X., Ye, X., & Fan, D. (2022). *A Loop Optimization Method for Dataflow Architecture*. In 2022 IEEE 24th Int Conf on High Performance Computing & Communications; 8th Int Conf on Data Science & Systems; 20th Int Conf on Smart City; 8th Int Conf on Dependability in Sensor, Cloud & Big Data Systems & Application (HPCC/DSS/SmartCity/DependSys) (pp. 202–211).
- [7] Gévay, G., Soto, J., & Markl, V. (2021). *Handling Iterations in Distributed Dataflow Systems*. ACM Comput. Surv., 54(9), 199:1–199:38.
- [8] Alves, T., Marzulo, L., Kundu, S., & França, F. (2021). *Concurrency Analysis in Dynamic Dataflow Graphs*. IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing, 9(1), 44–54.
- [9] Ye, Z., & Jiao, J. (2024). *Loop Unrolling Based on SLP and Register Pressure Awareness*. In 2024 20th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD) (pp. 1–6).
- [10] Lućanin, D., & Fabek, I. (2011). *A visual programming language for drawing and executing flowcharts*. In 2011 Proceedings of the 34th International Convention MIPRO (pp. 1679–1684).
- [11] Davis, A., & Keller, R. (1982). *Data Flow Program Graphs*. All HMC Faculty Publications and Research.
- [12] Boshernitsan, M., & Downes, M. (2004). *Visual Programming Languages: A Survey*. EECS University of California, Berkeley.
- [13] Charntaweekhun, K., & Wangsiripitak, S. (2006). *Visual Programming using Flowchart*. In 2006 International Symposium on Communications and Information Technologies (pp. 1062–1065).

- [14] Burnett, M., Baker, M., Bohus, C., Carlson, P., Yang, S., & Van Zee, P. (1995). *Scaling up visual programming languages*. *Computer*, 28(3), 45–54.
- [15] Kurihara, A., Sasaki, A., Wakita, K., & Hosobe, H. (2015). *A Programming Environment for Visual Block-Based Domain-Specific Languages*. *Procedia Computer Science*, 62, 287–296.
- [16] Hils, D. (1992). *Visual languages and computing survey: Data flow visual programming languages*. *Journal of Visual Languages & Computing*, 3(1), 69–101.
- [17] Sousa, T. (2012). *Dataflow Programming Concept, Languages and Applications*. *Doctoral Symposium on Informatics Engineering*, 7.
- [18] Van Deursen, A., Klint, P., & Visser, J. (2000). *Domain-specific languages: an annotated bibliography*. *ACM SIGPLAN Notices*, 35(6), 26–36.
- [19] Roy, G., Kelso, J., & Standing, C. (1998). *Towards a visual programming environment for software development*. In *Proceedings. 1998 International Conference Software Engineering: Education and Practice* (Cat. No.98EX220) (pp. 381–388). *IEEE Comput. Soc.*
- [20] Weintrop, D. (2019). *Block-based programming in computer science education*. *Communications of the ACM*, 62(8), 22–25.
- [21] Gumm, H.P., & Sommer, M. (2016). *Band 1 Programmierung, Algorithmen und Datenstrukturen*. *De Gruyter Oldenbourg*.