

AK I4.0
Interoperabilität

Standardisierung des Interfacekonzeptes

Ziel der Standardisierungsinitiative

Problemstellung

Die Begriffe von Interface und Komponente spielen im Diskurs über Interoperabilität in der Informatik, aber auch darüber hinaus, eine wesentliche Rolle. Aus Sicht der Autoren kann die Informatik hier die Rolle einer Modellwissenschaft einnehmen, weil ihre Notwendigkeit klarer Begrifflichkeiten in diesem Umfeld auf Grund ihrer Besonderheiten größer ist als in anderen Ingenieursdisziplinen.

Tatsächlich gibt es bisher aber keinen hinreichend einheitlichen Gebrauch dieser Begriffe, was die inhaltliche Verständigung im fachlichen Austausch über Themen der Interoperabilität deutlich erschwert.

So werden unter Interfaces teilweise Teile von Systemen, teilweise Spezifikationen oder auch Verträge verstanden. Teilweise werden unter dem Begriff des Interfaces in der Informatik nur funktionale Schnittstellen verstanden, die sich sinnvollerweise durch eine Operation ausdrücken lassen, teilweise werden auch Protokolle dazu gezählt, teilweise nur die Bestandteile von Protokollen, die sich auf einzelne Teilnehmer beziehen.

Deswegen halten wir eine Standardisierung der in diesem Kontext relevanten Begriffe für sinnvoll.

Vorgeschlagenes Modell

Der Vorschlag ist das folgende Begriffsnetzwerk zu standardisieren, das ausführlicher in (Bitkom2020, Reich2021) dargelegt wird. Es stellt die Vorstellung in den Mittelpunkt, dass sich das Konzept der „Interoperabilität“ durch den Kompositionsbegriff fassen lässt: zwei Systeme interoperieren „erfolgreich“, wenn nach einem zu definierenden Kriterium die Systeme in der Interaktion sich durch eine Komposition beschreiben lassen. Mit dem mathematischen Konzept der Komposition ist damit auch die Qualität der Interoperabilität mathematisch fassbar.

Eine **Zustandsfunktion/Zustandsgröße/Signal** ist eine Abbildung der Zeit auf eine Menge von Werten. Dies können physikalische Größen sein, wie etwa Spannung, Temperatur, etc. oder auch eine informatische Größe, wie ein Alphabet. Dieser Begriff ist von den einzelnen Werten, die diese Zustandsfunktionen zu definierten Zeitpunkten annehmen kann, abzugrenzen. Der Term „Zustand“ wird häufig kontextabhängig für das eine wie das andere verwendet.

Ein **System** besteht aus Zustandsfunktionen, deren Werte über die Systemfunktion in der Zeit verknüpft werden. D.h. die Systemfunktion legt fest, welche Zustände Eingabezustände, Ausgabezustände oder von außen nicht erreichbare, und damit innere Zustände sind.

Je nach Zeitskala (diskret, kontinuierlich), Wertebereiche der Zustandsfunktionen (endlich, diskret, kontinuierlich, zugelassene Elemente (nur Werte oder auch Mengen)),

Art der Systemfunktion (berechenbar, etc.) lassen sich verschiedene Systemklassen unterscheiden. Informatische Systeme sind in der Regel diskret und berechenbar.

Ebenfalls wichtig ist die Unterscheidung informatischer Systeme zwischen **einfachen, multi-Input und interaktiven Systemen**¹, weil diese ein unterschiedliches Kompositionsverhalten aufweisen (s.u.). Einfache Systeme haben nur einen (ggfs. vektorartigen) Eingabezustand, der zu jedem Verarbeitungsschritt gänzlich gefüllt wird. Bei multi-Input Systemen können einzelne Eingabekomponenten auch leer bleiben. Und interaktive Systeme verknüpfen die Eingabe mehrerer Quellsysteme so, dass ihre Ausgabe für ihre Empfangssysteme grundsätzlich nichtdeterministisch ist.

Interaktion ist ein Ausgabezustand eines Systems der Eingabezustand eines weiteren Systems, dann nennen wir diesen Zustand einen **“Shannon-Zustand”** oder **“Kanal”** und sprechen davon, dass beide Systeme interagieren. Bei informatischen Systemen sprechen wir in diesem Fall auch davon, dass sie Informationen austauschen. Eine Interaktion besteht daher aus zwei Transitionen, einmal des „sendenden“ Systems, das den Kanal in einer Transition mit einem Zeichen belegt und des „empfangenden“ Systems, das den Wert des Kanals als Eingabezeichen seiner Transition „verarbeitet“. Durch Interaktion kommt es zu verschiedenen Formen der Systemkomposition.

Die **Komposition** ist ein mathematische formulierbares Konzept², bei dem ein Kompositionsoperator C_S angewendet auf mathematisch repräsentierte Strukturen S_1, \dots, S_n wie etwa Systeme, Rollen, etc. wiederum eine mathematisch repräsentierte Struktur, also wiederum Systeme, Rollen, etc. erzeugt. Mathematisch notiert also

$$S_{\text{ges}} = C_S(S_1, \dots, S_n)$$

Bei der Komposition können wir verschiedene Klassen unterscheiden. Zunächst die **homogene Komposition**, bei der Bilder und Abbild des Operators aus derselben Menge stammen.

Dies ist etwa bei der hierarchischen Komposition von S_1, \dots, S_n Systemen zu einem Supersystem S_{ges} der Fall. Oder bei der damit verwandten hierarchischen Komposition von Operationen zu Operationen. Die „Intelligenz“ steckt dabei im Kompositionsoperator.

In der inhomogenen oder „emergenten“ Komposition stammen Bilder und Abbild des Kompositionsoperators aus verschiedenen Mengen. Dies ist bei der Komposition von Rollen zu Protokollen durch Interaktion, also Informationsaustausch, der Fall. In Fall der Protokolle steckt die „Intelligenz“ in den Rollen und die Zusammenführung beschränkt sich auf die Ermöglichung des Informationsaustauschs.

¹ In der Literatur auch als “reaktive Systeme” oder “Prozesse” bezeichnet. Auch ein Vergleich mit der VDI/VDE 3682-2005 „Formalisierte Prozessbeschreibungen“ wäre möglich, die ein hierarchisches Prozessmodell entwirft (homogene Komposition). Die Umhüllende eines Prozesselements umfasst alle ein- und austretenden Stoffe und Energien. Die Schnittstellen in der VDI/VDE 3682 sind vorrangig stofflich und energetisch.

² Man kann es also mit dem spärlichen und vergleichsweise exakten Vokabular der Mathematik, das nichtsdestotrotz Teil unserer “natürlichen” Umgangssprache ist, bestehend aus “Element”, “Menge”, “Funktion”, “Relation”, etc., beschreiben.

Ein **Interface** ist der Anteil eines Systems, der für den jeweiligen Kompositionsoperator "sichtbar" ist.

Eine **Komponente/Modul** ist ein System, das für eine gewisse Komposition vorgesehen ist und daher ein oder mehrere entsprechend wohldefinierte Interfaces aufweist.

Es wäre u.U. sinnvoll zwischen Komponenten zu unterscheiden, die für eine homogene Komposition vorgesehen sind, die also explizit designt wurden, um als Teil von entsprechend übergeordneten Komponenten ihr Dasein zu fristen, und Komponenten, die wesentlich für inhomogene (Protokoll-) Kompositionen vorgesehen sind und damit in einem gewissen Umfang für sich allein stehen sollen. Für die Bezeichnung letzterer schlagen wir den spezielleren Term „**Modul**“ vor.

Eine **Rolle** beschreibt das nichtdeterministische, zustandsbehaftete Verhalten eines interaktiven Systems in einer ausgewählten Interaktion. Auf Grund ihres interaktiven Charakters muss ein interaktives System immer wenigstens 2 Rollen aufweisen. Wir sprechen auch davon, dass ein interaktives System seine Rollen intern „**koordiniert**“ - was eine „innere Form der Komposition entspricht, die im Gegensatz zur externen Komposition über Protokolle steht.

Ein **Protokoll** P ist das Ergebnis einer Interaktions-basierten, inhomogenen Kompositionen von Systemteilen, den Rollen R_1, \dots, R_n , die nicht zur Supersystembildung führt

$$P = C_R^{\text{Prot}}(R_1, \dots, R_n)$$

Der „Zweck“ eines Protokolls drückt sich in seiner Erfolgsbedingung aus. Um diesen Zweck zu erfüllen, muss ein Protokoll die Eigenschaft der **Konsistenz** aufweisen. Diese besteht in seiner Abgeschlossenheit (alle gesendeten Zeichen werden auch verarbeitet), Vollständigkeit (es kommen keine weiteren Zeichen von „außen“), Unterbrechbarkeit (es weist keine unendlich langen Interaktionsketten auf) und es erfüllt seine Akzeptanzbedingung in jedem möglichen Lauf. Abgeschlossenheit und Vollständigkeit bezeichnen wir auch als „Wohlgeformtheit“.

Eine **Operation** ist ein abgrenzbarer Teil einer Systemfunktion, die sich auf definierte Eingabe-, innere und Ausgabestände bezieht.

Ein **Objekt** ist ein System, dessen Interface durch Operationen gegeben ist.

Das Konzept der **Kompatibilität** lässt sich mit dem Konzept der Komposition definieren. Die Details finden sich in (Reich2021).

Beispiel

Etwas vereinfacht lässt sich sagen, dass ein Protokoll zusammen mit den Entscheidungen, die jeder Interaktionsteilnehmer trifft, einem Spiel entspricht, also symbolisch "Spiel = Protokoll + Entscheidungen". Diese Nähe des Protokollkonzepts der Informatik zum Konzept des Spiels der Spieltheorie erlaubt die eingeführten Konzepte anschaulich mit der Beschreibung der Implementierung eines Schachspiels zu

beschreiben. Der Einfachheit halber nehmen wir dabei an, dass das Schachbrett nur als interne Repräsentation des Spielstandes geführt wird, also "blind" gespielt wird.

Jeder Spieler nimmt im Spiel eine Rolle ein. Im Schachspiel spielt er entweder die Rolle "Schwarz" oder "Weiß". Wir sagen auch, "der Spieler spielt in seiner Rolle" oder "Der Spieler tritt im Spiel nur in seiner Rolle in Erscheinung".

Eine dieser Rollen einzunehmen heißt, alle Regeln des Spiels bezogen auf die eigene Rolle zu kennen in dem Sinne, dass man sich in einer entsprechenden Interaktion korrekt verhalten kann. Das bedeutet, dass jeder Spieler in der Lage ist, bezogen auf seine Rolle korrekte Spielzüge zu machen. Außerdem kann er, zumindest beim Schachspiel, auch jeden eventuell ungültigen Spielzug des Gegenübers als solchen erkennen.

Ermöglicht man zwei Spielern in den Rollen "Weiß" und "Schwarz" die Interaktion, also den Austausch von Informationen, dann entsteht eine Instanz eines Schachspiels. D.h. die interaktionsbasierte Komposition der Rollen ergibt das Spiel.

Zu den Spielregeln kann man zählen, wer wann welche Entscheidung treffen darf. Nicht zu den Spielregeln gehört, wie die einzelnen Spieler zu ihren Entscheidungen gelangen. Hier ist es möglich, für die eigenen Spielziele ("Zwecke") geeignetere oder ungeeignere Entscheidungen zu treffen. Im Falle des Schachspiels ist das Spielziel durch die Drei Zustände charakterisiert: "Schwarz gewinnt", "Weiß gewinnt" und "Remis".

Gemäß dem Gesagten ist im Falle eines Spiels das Interface eines Spielers seine Rolle, die diese in die Komposition zum Spiel einfließt. Weitergehende Aspekte der Spieler sind für die Entstehung des Spiels unerheblich. Das Interface gehört daher zum Spieler und es lässt sich grundsätzlich auch in anderen Kompositionen verwenden, unter der Voraussetzung, dass Konsistenz erreichbar ist.

Will nun ein Unternehmen eine Modul bauen, das Schach in einer Rolle "Schwarz" oder "Weiß" spielen kann, so wird es dies Komponenten-basiert tun. Diese Komponenten werden hierarchisch über eine Teil-Ganze-Beziehung komponieren und damit ihre Funktionalität untereinander i.W. über Operationen zur Verfügung stellen. Bei der Komposition von einfacheren Operationen zu zusammengesetzten, komplexeren Operationen steckt die "Intelligenz" in der Komposition, also in der Art, wie die einfacheren Operationen in der übergeordneten Operation zusammensetzt werden, was auf den Designentscheidungen der Komponententwickler basiert. Die "Intelligenz" des Moduls im Rahmen eines Schachspiels verbirgt sich hingegen in der Art und Weise, wie es jeweils zu seinen Auswahlentscheidungen der Schachzüge kommt.

Grundsätzlich wäre es auch möglich, die Schnittstellen anders auszuformen. Man könnte auf die Idee kommen, dass auch jemand "mitspielen" können soll, der nur weiß wie ein Schachbrett aussieht und die Schachfiguren unterscheiden kann, also die Regeln zu den Zügen, des Spielziels, etc. nicht kennt. Ein solcher "Mitspieler" wäre nur in der Lage, den Spielstand zu repräsentieren und könnte keine Spiel-bezogenen Entscheidungen treffen. Damit wäre ein Integration zweier solcher "Spieler" auf eine weitere Komponente angewiesen, die dann sozusagen "mit sich selbst spielt" und den

vermeintlichen Spielern direktiv “sagt wo es lang geht”. Diese Problematik findet sich häufig als “Integrationsproblem” in der Praxis, das dort mittels sogenannter Middleware “gelöst” wird.

Weiteres Vorgehen

Meilenstein #1: Verbündete finden

- Der entsprechende wissenschaftliche Artikel Komposition und Interoperabilität von IT-Systemen (Reich 2021) ist mittlerweile publiziert. Vielleicht kommt Feedback aus der GI/Spektrum Informatik Community?
- Vorstellung in der Arbeitsgruppe 7.21 VDMA. Leitung Tobias Kleinert, RWTH Aachen, ist für den Herbst geplant.
- Vorstellung im I40 Terminologie Arbeitskreis (Leitung Miriam Schleipen) ist erfolgt.
- Vorstellung des Modells im AK Normungsroadmap I40 ist erfolgt, Johannes Reich wurde als Mitglied aufgenommen.
- Vorstellung des Modells im Standardization Council I40 ist erfolgt.

Meilenstein #2: formale Standardisierungsinitiative starten

- Mitwirkung bei der Normungsroadmap Industrie 4.0

Bitkom vertritt mehr als 2.000 Mitgliedsunternehmen aus der digitalen Wirtschaft. Sie erzielen allein mit IT- und Telekommunikationsleistungen jährlich Umsätze von 190 Milliarden Euro, darunter Exporte in Höhe von 50 Milliarden Euro. Die Bitkom-Mitglieder beschäftigen in Deutschland mehr als 2 Millionen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Zu den Mitgliedern zählen mehr als 1.000 Mittelständler, über 500 Startups und nahezu alle Global Player. Sie bieten Software, IT-Services, Telekommunikations- oder Internetdienste an, stellen Geräte und Bauteile her, sind im Bereich der digitalen Medien tätig oder in anderer Weise Teil der digitalen Wirtschaft. 80 Prozent der Unternehmen haben ihren Hauptsitz in Deutschland, jeweils 8 Prozent kommen aus Europa und den USA, 4 Prozent aus anderen Regionen. Bitkom fördert und treibt die digitale Transformation der deutschen Wirtschaft und setzt sich für eine breite gesellschaftliche Teilhabe an den digitalen Entwicklungen ein. Ziel ist es, Deutschland zu einem weltweit führenden Digitalstandort zu machen.

Herausgeber

Bitkom e.V.
Albrechtstr. 10 | 10117 Berlin

Autoren

Johannes Reich (SAP SE)
Nils Macke (ZF)
Falk Heinecke (DLR)

Ansprechpartner

Angelina Marko | Bereichsleiterin Industrie 4.0 & Technische Regulierung
T 030 27576-179 | a.marko@bitkom.org

Verantwortliches Bitkom-Gremium

AK Industrie 4.0 Interoperabilität

Copyright

Bitkom 2022

Diese Publikation stellt eine allgemeine unverbindliche Information dar. Die Inhalte spiegeln die Auffassung im Bitkom zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wider. Obwohl die Informationen mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt wurden, besteht kein Anspruch auf sachliche Richtigkeit, Vollständigkeit und/oder Aktualität, insbesondere kann diese Publikation nicht den besonderen Umständen des Einzelfalles Rechnung tragen. Eine Verwendung liegt daher in der eigenen

Verantwortung des Lesers. Jegliche Haftung wird ausgeschlossen. Alle Rechte, auch der auszugsweisen Vervielfältigung, liegen beim Bitkom oder den jeweiligen Rechteinhabern.