

Können Gemeinschaften autonomer Einheiten beim Modellieren digitaler Ökosysteme helfen?

Hans-Jörg Kreowski¹

Abstract: In dieser kurzen Abhandlung wird das Konzept der Gemeinschaften autonomer Einheiten informell skizziert, das für die formale Modellierung logistischer Systeme interaktiver autonomer Prozesse eingeführt wurde. Ein erster versuchsweiser Vergleich mit digitalen Ökosystemen weist gewisse Ähnlichkeiten auf, so dass es sich lohnen kann, das näher zu untersuchen.

Keywords: Gemeinschaften autonomer Einheiten, digitale Ökosysteme, autonome Prozesse, Selbststeuerung, Modellierung

1 Einleitung

Der Sonderforschungsbereich 637 *Selbststeuernde logistische Prozesse – ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen* lief von 2004 bis 2012 an der Universität Bremen anfangs unter der Leitung von Otthein Herzog und später von Bernd Scholz-Reiter als eine interdisziplinäre Kooperation von Forschungsgruppen aus der Elektrotechnik, Informatik, Mathematik, Produktionstechnik und aus der Wirtschaftswissenschaft. Zielsetzung war die systematische und breit angelegte Erforschung und Nutzbarmachung der Selbststeuerung als ein neues Paradigma für logistische Prozesse (siehe z.B. [HW07, HSW11] für einen Überblick). In diesem Rahmen ist das Konzept der Gemeinschaften autonomer Einheiten vorgeschlagen und intensiv untersucht worden, um logistische Systeme von interaktiven autonomen Prozessen mit rigoroser Syntax und Semantik zu modellieren und einen Ansatz bereitzustellen, der semantische Analysen einschließlich Korrektheitsbeweise erlaubt (siehe z.B. [HKK06, KK07, HKK09, KK10, KKT11]).

In dieser kurzen Abhandlung wird das Konzept der Gemeinschaften autonomer Einheiten informell vorgestellt und auf gewisse Ähnlichkeiten zu digitalen Ökosystemen hingewiesen. Deshalb mag die Frage erlaubt sein, ob Gemeinschaften autonomer Einheiten helfen können, digitale Ökosysteme formal zu modellieren und auf der semantischen Ebene zu analysieren. Allerdings ist für eine systematische Klärung dieser Frage eine sorgfältigere und tiefere Studie erforderlich, als diese erste noch sehr oberflächliche Betrachtung zu leisten vermag.

¹ Universität Bremen, Fachbereich 3, Bibliothekstr. 5, 28359 Bremen, kreo@informatik.uni-bremen.de

Im folgenden Abschnitt werden die syntaktischen und semantischen Hauptmerkmale von Gemeinschaften autonomer Einheiten skizziert, um dann im dritten Abschnitt einen Bezug zu digitalen Ökosystemen herzustellen.

2 Gemeinschaften autonomer Einheiten

Eine *Gemeinschaft autonomer Einheiten* stellt eine *Umgebung* zur Verfügung, in der alle ihre Einheiten unabhängig voneinander agieren und miteinander interagieren. Spezielle Umgebungen können als Start gewählt werden. Jede *autonome Einheit* einer solchen Gemeinschaft kann in spezifischer Weise seine Umgebung lokal erfassen und verändern. Für jede Einheit und für die ganze Gemeinschaft können *Ziele* formuliert werden. Das Zusammenwirken der Einheiten (zwischen intensiver Zusammenarbeit und starker Konkurrenz) kann durch *Kooperationsbedingungen* reguliert werden. Formal werden Umgebungen als *Graphen* modelliert, und die Einheiten verfügen über *Regeln*, mit denen sie lokal auf die jeweils aktuelle Umgebung zugreifen und dort Teile löschen und zufügen können. Um die Anwendung von Regeln zu steuern, bekommt jede Einheit *Kontrollbedingungen*, die zum Beispiel die Reihenfolge der Regelanwendungen festlegen oder Prioritäten setzen. Ziele werden durch logische Formeln oder durch spezielle Eigenschaften der zu erreichenden Umgebungen spezifiziert. Kooperationsbedingungen dienen vor allem dazu, das Maß der Nebenläufigkeit, Parallelität oder Sequenzialität der interagierenden Einheiten festzulegen. Beispielsweise kann gefordert werden, dass immer alle Einheiten gleichzeitig agieren, dass die Aktionen bestimmter Einheiten die gleichzeitige Aktion anderer Einheiten ausschließt oder dass konkurrierende Einheiten immer abwechselnd aktiv werden.

Semantisch beschreibt eine Gemeinschaft autonomer Einheiten Folgen von Regelanwendungen, die bei einer Startumgebung beginnen und beliebig lange laufen, wenn keine Gesamtziele formuliert sind, und die bei einer Zielumgebung enden, soweit allgemeine Ziele definiert sind. Bei geeigneter Wahl von Regeltypen lassen sich aus den Einzelregeln Parallelregeln bilden, so dass nicht nur sequentielle, sondern auch parallele Abläufe in der *Ablaufsemantik* berücksichtigt werden können. Darüber hinaus ist es ebenfalls möglich, Regeln und Regelanwendung so zu wählen, dass Regeln nur dann sequentiell ausgeführt werden müssen, wenn sie kausal abhängig sind. Das erlaubt eine nebenläufige Semantik, bei der eine zeitliche Reihenfolge nur im Falle der kausalen Abhängigkeit besteht. Bei allen anderen Aktionen ist nicht zu ermitteln, ob sie in beliebiger Reihenfolge nacheinander oder zeitgleich stattfinden, also echt nebenläufig sind. Die Folgen müssen sowohl den Kontrollbedingungen aller einzelnen Einheiten wie auch den Kooperationsbedingungen der Gemeinschaft genügen. In dem Falle, dass globale Ziele definiert sind, induziert die Ablaufsemantik auch eine *Ein-/Ausgabe-Relation* zwischen Startumgebungen und Zielumgebungen, die durch Abläufe ineinander überführt werden. Die in dem Ansatz verwendeten Konzepte der *Graphtransformation* sind z.B. [Ro97] ausführlich behandelt.

Die auf Regelanwendung basierende Ablaufsemantik bildet auch die Grundlage für semantische Analysen. Da eine Regelanwendung einen gegebenen Umgebungsgraphen in präzis definierter Weise in einen neuen Umgebungsgraphen transformiert, lassen sich alle

Einzelsschritte genau untersuchen. Darüber hinaus – und für den Nachweis globaler Eigenschaften interessanter – lassen sich über die Längen der Regelanwendungsfolgen Induktionsbeweise führen. In [Da10] beispielsweise wird gezeigt, dass sich auf dieser Basis die Stabilität von Produktionsnetzen untersuchen lässt. Oder in [KK08] wird die Routenplanung für Abhol- und Zustell-Fahrzeuge so modelliert, dass sich Aussagen über Pünktlichkeit, Auslastung und Ähnliches beweisen lassen. Die Ein-/Ausgabe-Semantik bildet außerdem die Grundlage, auch Fragen der Berechenbarkeit, der Komplexität und der Erzeugungsmächtigkeit zu untersuchen und korrekt zu beantworten.

3 Vergleich mit digitalen Ökosystemen

Ein erster vorläufiger und noch recht kursorischer Blick in die Literatur zu digitalen Ökosystemen (siehe z.B. [BC07, BSD11, DIM11, LBB12]) weist auf einige Ähnlichkeiten zu Gemeinschaften autonomer Einheiten hin. Ein digitales Ökosystem umfasst diverse Entitäten, die vielfach als Agenten bezeichnet oder modelliert werden und die autonomen Einheiten gleichen, da sie ebenfalls konkurrierend oder kooperierend lose gekoppelt und unabhängig voneinander agieren. Das Environment, in dem dieses Zusammenwirken geschieht, oder zumindest Teile davon werden gern durch graphische, diagrammatische Strukturen dargestellt. Das Kernprinzip der Selbstorganisation entspricht der Autonomie aller Einheiten, die zwar durch Kooperationsbedingungen eingeschränkt werden kann, aber nicht muss. Ansonsten ist jede Einheit frei, das zu tun, was ihre eigenen Fähigkeiten in der Wechselwirkung mit dem aktuellen Zustand der Umgebung erlaubt. Zusammengekommen organisiert sich das Gesamtsystem selbst, weil es keine übergeordnete Steuerungsinstanz gibt.

Aus diesen Beobachtungen ergibt sich die Frage, ob der Modellierungsansatz der Gemeinschaften autonomer Einheiten auch zur formalen, syntaktisch und semantisch präzisen Modellierung digitaler Ökosysteme taugt. Lässt sich das bejahen, ergäbe sich die Chance, gewünschte Eigenschaften von digitalen Ökosystemen wie Nachhaltigkeit, Stabilität, Anpassungsfähigkeit und Fairness beweisen.

Literaturverzeichnis

- [BC07] Boley, H.; Chang, E.: Digital ecosystems: principles and semantics. In Damiani, E. (Ed), Inaugural IEEE International Digital Ecosystems and Technologies Conference (DEST). Cairns, Australia: IEEE, S. 398-403. 2007.
- [BSD11] Briscoe, G., Sadedin, S. & De Wilde, P.: Digital Ecosystems: Ecosystem-Oriented Architectures. *Natural Computing* 10:1143, 2011. doi.org/10.1007/s11047-011-9254-0
- [Da10] Dashkovskiy, S. et al.: Production Networks as Communities of Autonomous Units and Their Stability. *International Electronic Journal of Pure and Applied Mathematics* 2, S. 17-42, 2010.

-
- [DIM11] Dini, P.; Iqani, M.; Mansell, R.: The (im)possibility of interdisciplinarity: lessons from constructing a theoretical framework for digital ecosystems. *Culture, Theory and Critique*, 52 (1). S. 3-27, 2011.
- [HKK06] Hölscher, K.; Kreowski, H.-J.; Kuske, S.: Autonomous Units and their Semantics – The Sequential Case. In Corradini, A. et al. (Editors): Proc. 3rd Intl. Conference on Graph Transformations (ICGT 2006), Lecture Notes in Computer Science, Band 4178, S. 245-259, 2006.
- [HKK09] Hölscher, K.; Kreowski, H.-J.; Kuske, S.: Autonomous Units to Model Interacting Sequential and Parallel Processes. *Fundamenta Informaticae* 92, S. 233-257, 2009.
- [HSW11] Hülsmann, M.; Scholz-Reiter, B.; Windt, K. (Editors): *Autonomous Cooperation and Control in Logistics*. Springer-Verlag, Heidelberg-Berlin, 2011.
- [HW07] Hülsmann, M.; Windt, K. (Editors): *Understanding Autonomous Cooperation and Control in Logistics*. Springer-Verlag, Heidelberg-Berlin, 2007.
- [KK07] Kreowski, H.-J.; Kuske, S.: Autonomous Units and Their Semantics – The Parallel Case. In Fiadeiro, J.L.; Schobbens, P.Y. (Editor): *Recent Trends in Algebraic Development Techniques*, 18th International Workshop, WADT 2006, Lecture Notes in Computer Science, Band 4409, S. 56-73, 2007.
- [KK08] Kreowski, H.-J.; Kuske, S.: Communities of Autonomous Units for Pickup and Delivery Vehicle Routing. In Schürr, A. et al. (Editors): Proc. 3rd Intl. Workshop on Applications of Graph Transformation with Industrial Relevance (AGTIVE '07), Lecture Notes in Computer Science, Band 5088, S. 281-296, 2008.
- [KK10] Kreowski, H.-J.; Kuske, S.: Autonomous Units and Their Semantics – The Concurrent Case. In Gregor Engels, G. et al. (Editors): *Graph Transformations and Model Driven Engineering – Essays Dedicated to Manfred Nagl on the Occasion of his 65th Birthday*, Lecture Notes in Computer Science, Band 5765, S. 102-120. 2010.
- [KKT11] Kreowski, H.-J.; Kuske, S.; von Totth, C.: Modeling Production Networks with Discrete Processes by Means of Communities of Autonomous Units. *Logistics Research* 3, S. 159-175, 2011.
- [LBB12] Li, W.; Badr, Y.; Biennier, F.: Digital ecosystems: challenges and prospects. *Proceedings of the International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems*, S. 117-122, 2012.
- [Ro97] Rozenberg, G. (Ed.): *Handbook of graph grammars and computing by graph transformation: volume I. Foundations*. World Scientific Publishing Co., Inc. River Edge, NJ, USA, 1997.