

## CSM

Collaborative State Machines: a novel programming model for the Computing Continuum

<b>Programm / Ausschreibung</b>	KS 24/26, KS 24/26, Bridge 2024/02	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.01.2026	<b>Projektende</b>	31.12.2028
<b>Zeitraum</b>	2026 - 2028	<b>Projektlaufzeit</b>	36 Monate
<b>Keywords</b>	Verteilte Systeme, Programmiermodelle, Laufzeitsysteme, Cloud Computing, Edge Computing		

### Projektbeschreibung

Die Entwicklung von IoT-Edge-Cloud-Infrastrukturen hat die Datenverarbeitung grundlegend verändert, indem sie Echtzeit-Reaktionen, lokale Entscheidungsfindung und skalierbare Analysen ermöglicht. Dennoch stoßen bestehende Programmiermodelle und Orchestrierungssysteme an ihre Grenzen, wenn es darum geht, reaktive, ereignisgesteuerte und zustandsbehaftete Anwendungen für dieses Computing-Kontinuum zu entwickeln und auszuführen. Herausforderungen wie unflexible Programmierparadigmen, ineffizientes Zustands- und Datenmanagement, zentrale Laufzeitsysteme und statisches Scheduling erschweren die Anwendungsentwicklung.

Der CSM-Antrag stellt Collaborative State Machines (CSM) vor – ein disruptives Programmiermodell und eine Plattform, die das Design und die Ausführung verteilter Anwendungen grundlegend neu gestalten. CSM ermöglicht die nahtlose Zusammenarbeit zwischen Zustandsautomaten, indem ereignisgesteuerte Übergänge und geteilte Zustände genutzt werden, um Reaktionsfähigkeit, Ressourcennutzung und Skalierbarkeit zu optimieren. Die Plattform integriert ein innovatives Laufzeitsystem, eine dynamische Multi-Objective-Scheduling-Strategie sowie ein Orchestrierungsframework auf Basis virtueller Architekturen. Diese Komponenten gewährleisten eine effiziente Ressourcenzuweisung, Anpassung an dynamische Bedingungen und signifikante Verbesserungen in Leistung und Kosten.

Das CSM-Modell und sein unterstützendes Ökosystem (CSM-Plattform) zielen darauf ab, zentrale Fortschritte im Design und in der Ausführung verteilter Anwendungen zu ermöglichen:

- Dynamische, ereignisgesteuerte und zustandsbehaftete Anwendungen: Nahtlose Anpassung an sich ändernde Anforderungen und Umgebungsbedingungen in verteilten Systemen.
- Verbesserte Nutzbarkeit und Wiederverwendbarkeit: High-Level-Abstraktionen und Frameworks vereinfachen Entwicklung, Bereitstellung und Wiederverwendung und steigern die Produktivität.
- Ressourceneffizienz und Kostenoptimierung: Optimierte Ressourcennutzung fördert Nachhaltigkeit

und Wirtschaftlichkeit für das Computing-Kontinuum.

- Intelligente Orchestrierung: Automatisierte und adaptive Verwaltung von Anwendungen über heterogene Netzwerke und Ressourcen hinweg sichert Leistung, Skalierbarkeit und Zuverlässigkeit.

Um die Effektivität des CSM-Modells und der Plattform hinsichtlich Entwicklungsaufwand, Leistung und Portabilität zu bewerten, werden vier wissenschaftliche Anwendungen sowie eine industrielle Anwendung (NextGenSmartBuilding, bereitgestellt von unserem Industriepartner SIPLAN) auf das CSM-Programmiermodell portiert. Diese Anwendungen werden auf zwei unterschiedlichen, realistischen Hardwareplattformen ausgeführt und umfassend getestet.

## **Abstract**

The development of IoT-Edge-Cloud infrastructures has fundamentally transformed data processing by enabling real-time responses, local decision-making, and scalable analytics. Nevertheless, existing programming models and orchestration systems face significant limitations when it comes to developing and executing reactive, event-driven, and stateful applications for this computing continuum. Challenges such as inflexible programming paradigms, inefficient state and data management, centralized runtime systems, and static scheduling complicate application development.

The CSM proposal introduces Collaborative State Machines (CSM) – a disruptive programming model and platform designed to fundamentally redefine the design and execution of distributed applications. CSM facilitates seamless collaboration between state machines by leveraging event-driven transitions and shared states to optimize responsiveness, resource utilization, and scalability. The platform integrates an innovative runtime system, a dynamic multi-objective scheduling strategy, and an orchestration framework based on virtual architectures. These components ensure efficient resource allocation, adaptation to dynamic conditions, and significant improvements in performance and cost optimization.

The CSM model and its supporting ecosystem (the CSM Platform) aim to enable key advancements in the design and execution of distributed applications:

- Dynamic, event-driven, and stateful applications: Seamless adaptation to changing requirements and environmental conditions in distributed systems.
- Improved usability and reusability: High-level abstractions and frameworks simplify development, deployment, and reuse, enhancing developer productivity.
- Resource efficiency and cost optimization: Optimized resource utilization promotes sustainability and economic efficiency for the computing continuum.
- Intelligent orchestration: Automated and adaptive management of applications across heterogeneous networks and resources ensures performance, scalability, and reliability.

To evaluate the effectiveness of the CSM model and platform in terms of development effort, performance, and portability, four scientific applications and one industrial application (NextGenSmartBuilding, provided by our industry partner SIPLAN) will be ported to the CSM programming model. These applications will be deployed

and thoroughly tested on two distinct, realistic hardware platforms.

### **Projektkoordinator**

- Universität Innsbruck

### **Projektpartner**

- siplan gmbh