



Doctoral Thesis

Concurrent behavior control a system's thinking approach to intelligent behavior

Author(s):

Zimmermann, Martin

Publication Date:

1992

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000694140> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Concurrent Behavior Control
—
**A System's Thinking Approach to
Intelligent Behavior**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
Martin Zimmermann
Master of Science, Massachusetts Institute of Technology, U.S.A.
Dipl.-Ing., Universität Stuttgart, Germany
born January 24, 1963
citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. G. Schweitzer, examiner
Prof. Dr. M. Hiller, co-examiner

Abstract

Almost all of today's robots are capable of executing preprogrammed movements fast and precisely, but show problems to deal efficiently with any unforeseen or unexpected situations – they lack *adaptive behavior*. One of the remedies proposed for solving this problem has been to base perception and reasoning on detailed world models. However, many of the resulting, promising architectures for 'intelligent' control still lack two major characteristics of adaptive behavior, namely robustness and reactivity. This is also a central factor, why those control architectures are very rarely employed in practice today. This provides the motivation for the design of a new kind of architecture for 'intelligent' control, where *adaptive behavior* is viewed as the main prerequisite for *intelligent behavior*. The objective of this work is to examine, model and develop a technically feasible and practically useful implementation of a control architecture for adaptive behavior, which allows for the dynamic interaction of more planned, intellectual and rather physically grounded, emergent behavior within the same framework. The approach presented merges elements from the existing deliberative thinking and emergent functionality approaches in order to enable the formation of *deliberately emergent strategies*. During this process, *system's thinking* has been identified as the major driving force which is needed to guide the development of such a system from the very first design steps up to the final implementation phase.

The major contribution of this work is the biologically motivated *Concurrent Behavior Control* (CBC) architecture, which offers a deeply physically grounded multi-agent approach to adaptive behavior and ensures robustness with regard to changing or unforeseen real world conditions. To enable and support *system's thinking* during the entire

development phase, a set of design guidelines and tools is provided. The systematic design process is supported further by the clearly defined interfaces between the various functional system components and the easily comprehensible data structures, enabling for the first time a systematic, incremental design, thereby opening up new fields of practical applications for such control architectures. Moreover, no restrictions are imposed with regard to the kind of knowledge representation and implementation, although fuzzy logic is identified as a very useful tool for knowledge acquisition and handling.

Within the CBC architecture, the overall goal is decomposed into subgoals. These subgoals are worked on by concurrently, independently, and asynchronously operating layers of behavior. The knowledge and problem-solving capabilities are thus highly distributed and embedded in the structure of the system, as well as in the local models of the layers of behavior. To allow for high reactivity, those layers do not communicate with each other directly, but via the world and sensory data mainly. A central behavior fusion module without intrinsic intelligence is provided as the facility for mediation and conflict resolution, while each layer decides locally and independently, with which priority it would like to take part in this dynamic arbitration process. In cooperation with 'higher level' systems, such as a human operator, the CBC system may serve as a kind of safety net due to its robustness, flexibility, and reactivity. Hence, a human operator may concentrate on problem solving at more abstract levels of thinking, thereby employing exactly those creative and sensory capabilities which the automatic control system is lacking.

The entire design and implementation process for a CBC system is illustrated for the example of a legged walking machine for operation in natural environments. The simulations and experiments demonstrate that versatile, intelligent locomotion capabilities may emerge from this highly distributed CBC system and show a number of the desired characteristic features of adaptive behavior resembling those observed from biological systems as well.

Kurzfassung

Praktisch alle heute eingesetzten Roboter können zwar vorprogrammierte Bewegungen schnell und präzise ausführen, jedoch auf unvorhergesehene Ereignisse nur äußerst unvollkommen reagieren – ihnen fehlt die Fähigkeit zu *adaptivem Verhalten*. Viele der bisher vorgeschlagenen und aussichtsreichen ‘intelligenten’ Regelarchitekturen versuchen dieses Problem durch den Aufbau detaillierter Modelle und den Einsatz ‘intelligenter’ Problemösungsverfahren zu lösen. Da ihnen meist jedoch noch zwei wesentliche Faktoren für adaptives Verhalten fehlen, Robustheit und Reaktionsfähigkeit, finden sie bisher nur sehr selten in der Praxis Anwendung.

Diese Nachteile herkömmlicher Ansätze bildeten die Motivation für den Entwurf einer neuartigen Regelarchitektur, wobei die gleichzeitige Anpassung an die und die Ausnutzung der momentanen Umgebungsbedingungen durch *adaptives Verhalten* als wesentliche Grundlage für *intelligentes Verhalten* angesehen wird. Ziel dieser Arbeit ist es, die Grundlagen für eine technisch machbare und praktisch nutzbare Implementation einer Regelarchitektur für adaptives Verhalten zu untersuchen, welche die dynamische Wechselwirkung von geplantem, intellektuellem und physikalisch fundiertem, sich aus der Situation ergebendem Verhalten ermöglicht. Der vorgeschlagene Ansatz verknüpft dazu Elemente der bereits existierenden Ansätze des ‘Deliberative Thinking’ und der ‘Emergent Functionality’ und ermöglicht die *gezielte Herausbildung von sich aus der Situation ergebenden Strategien*. Dabei wurde das *Denken in Systemen* als unabdingbar für den systematischen Aufbau eines solchen ‘intelligenten’ Systems, angefangen von den ersten Entwurfsschritten bis hin zur letzten Implementationsphase, identifiziert.

Den wichtigsten Beitrag dieser Arbeit stellt die biologisch motivierte

Concurrent Behavior Control (CBC) Architektur dar, die einen physikalisch fundierten Multiagentenansatz zu adaptivem Verhalten bietet und robustes Verhalten auch in unvorhergesehenen Situationen ermöglicht. Um das Denken in Systemen während der gesamten Entwicklungsphase systematisch zu unterstützen, ist ein Satz von Leitlinien und Werkzeugen entwickelt worden. Entwurf und Implementation werden darüberhinaus durch die klar definierten und gut überschaubaren Datenstrukturen weiter unterstützt, die erstmals einen schrittweisen und systematischen Entwurf ermöglichen, was insbesondere auch neue praktische Anwendungsgebiete für solche 'intelligenten' Regelarchitekturen eröffnet. Trotzdem bleibt viel Entwicklungsspielraum, zumal die Art der Wissensrepräsentation und -implementation nicht festgelegt ist, obgleich beispielsweise Fuzzy Logik als ein äußerst nützliches Werkzeug für die Wissensakquisition und -behandlung vorgeschlagen wird.

Im Rahmen der CBC Architektur wird die Gesamtaufgabe in einzelne Teilaufgaben unterteilt. Diese Teilaufgaben werden durch parallel, unabhängig und asynchron arbeitende Verhaltensschichten verfolgt. Das Wissen zur Problemlösung ist daher in hohem Maße sowohl in der Schichtenstruktur, als auch in den lokalen Modellen der Verhaltensschichten verteilt abgelegt. Um die gewünschte hohe Reaktionsfähigkeit zu erreichen, kommunizieren diese Schichten nicht direkt miteinander, sondern über Sensordaten. Die dynamische Vermittlung zwischen den Zielen der verschiedenen Schichten erfolgt in einem zentralen 'Behavior Fusion' Modul, das ohne eigene Intelligenz auskommt, da jede Verhaltensschicht lokal und selbständig darüber entscheidet, mit welcher Priorität sie in der jeweiligen Situation an dem dynamischen Vermittlungsprozeß teilnehmen möchte. Aufgrund der daraus resultierenden Robustheitseigenschaften sowie seiner Flexibilität und Reaktionsfähigkeit kann das CBC System insbesondere auch bei der Zusammenarbeit mit 'höheren' Regelsystemen, wie beispielsweise einem menschlichen Bediener, als eine Art Sicherheitsnetz eingesetzt werden. Dies ermöglicht es dem Bediener, sich auf das eher abstrakte Problemlösen zu konzentrieren, wobei er genau die kreativen und sensorischen Fähigkeiten zur Geltung bringen kann,

die dem automatischen Regelsystem fehlen.

Der gesamte Entwurfs- und Implementationsprozeß eines CBC Systems wird am Beispiel einer Laufmaschine mit Beinen für die Fortbewegung in natürlichem Gelände systematisch aufgezeigt. Viele Eigenschaften der CBC Architektur und ihre Leistungsfähigkeit werden anhand von Simulationen und Experimenten demonstriert, und einige der resultierenden Charakteristika des adaptiven, intelligenten Laufverhaltens erinnern tatsächlich stark an die Fähigkeiten biologischer Systeme.