

Neuronale Netzwerke zur adaptiven Regelung robotischer Systeme

Vollautomatischen Systemen autonomes Verhalten zu ermöglichen, setzt voraus, dass ihre Steuer- und Regelungsstrategien in der Lage sind, sich an neue, unbekannte Situationen anzupassen, insbesondere unter rauen Umweltbedingungen oder bei Systemschäden; adaptive Regelungsverfahren können hierzu einen wichtigen Beitrag leisten. Neuronale Netzwerke stellen ihrerseits einen bekannten Ansatz dar, Lernfähigkeit in einem Regler zu implementieren, wobei der Nachweis der Stabilität stets anspruchsvoll ist.

Im Hinblick der verbesserten Transparenz zur Regelung genutzter neuronaler Netzwerke wird ein Perspektivwechsel bei der Betrachtung ihrer Lernverfahren vollzogen. Demnach werden neuronale Netze als dynamische Systeme aufgefasst, womit das Lernen innerhalb eines Netzwerkes als geregelter Prozess betrachtet werden kann. Dies ermöglicht die Übertragung des Konzeptes der Gleitzustandsregelung auf neuronale Lernverfahren, welche so um eine regelungstechnisch motivierte, intrinsische Stabilitätsbedingung erweitert werden können. Durch die damit verbundene dynamische Bestimmung der Lernraten vermag dieser Lernansatz die Zustände eines neuronalen Netzes in den global asymptotisch stabilen Gleitzustand zu überführen.

Die praktische Bedeutung und die Vorteile dieses Lernverfahrens werden am Beispiel eines beschädigten unbemannten Flugzeuges unter Störeinfluss gezeigt, das mittels neuronal gestützter dynamischer Inversion geregelt wird. Hierbei besitzt die Überführung der Zustandsgrößen des Netzes in den Gleitzustand eine erweiterte stabilisierende Wirkung auf die Fehlerdynamik des geschlossenen des Regelkreises. Gleichzeitig verfügt das Gleitzustandsverfahren wegen seiner stabilitätsbedingten dynamischen Bestimmung der Lernrate eine höhere Konvergenzgeschwindigkeit als vergleichbare etablierte Ansätze. Die Ergebnisse unterstreichen die Vorteile der interdisziplinären Kombination von klassischer Regelungstechnik und Maschinenlernverfahren bei der Auslegung komplexer Regelungssysteme.

Neural Networks for Adaptive Control of Robotic Systems

Fully autonomous behaviour of automatic systems implies that their control strategies are capable of adapting to new, unknown situations, especially under adverse environmental conditions or in case of system failures; in this context adaptive control systems can contribute substantially. Neural networks represent a well known approach to realise adaptivity in a control system, the proof of their stability however is considerable.

To allow for an improved transparency of neural networks used in control systems a change of perspective regarding their learning methods is made. This means that a neural network is treated as a dynamic system whereby the learning within such a network becomes a controlled process. Therefore, the application of the concept of sliding mode control to learning techniques of neural networks is possible, which thereby can be augmented with an intrinsic stability condition. Through the dynamic calculation of the learning rate this learning approach is able to constrain the network's states into the globally asymptotically stable sliding mode.

The practical relevance of this learning method is illustrated utilising the example of a damaged unmanned aircraft under perturbation, which is controlled by a combination of dynamic inversion and neural networks trained with the sliding mode learning method. This is the case because constraining the network's states to the sliding mode offers an enhanced stabilising effect upon the error dynamics of the closed-loop control system. It is shown, that the sliding mode learning technique due to the dynamic calculation of the learning rate offers a higher speed of convergence than comparable established methods. The results especially emphasise the advantages of the interdisciplinary combination of control theory and machine learning techniques for the design of complex control systems.