Praktikum Autonome Roboter – Projekt II

Bewegungsplanung mit verallgemeinerten selbstorganisierenden Karten

PD Dr. R. Der
Universität Leipzig
Institut für Informatik

April 7, 1997

1 Aufgabe: Bewegungsplanung mit verallgemeinerten selbstorganisierenden Karten

Die Planung einer Trajektorie, die den AR durch eine Reihe von Hindernissen sicher von einem beliebigen Startpunkt zu einem vorgegebenen Ziel führt, ist eine für die Roboternavigation besonders wichtige Aufgabe. Im Projekt sollen Ansätze auf der Grundlage verallgemeinerter selbstorganisierender Karten [Kohonen95], [Ritter93] untersucht werden, die im wesentlichen einer geschickten Darstellung des freien Raumes zwischen den Hindernissen dienen. Auf diesen Karten können dann Planungsalgorithmen zur Planung der optimalen Trajektorie aufsetzen. Wir wollen im wesentlichen zwei Richtungen verfolgen und zwar, (i) den in der Arbeit [VLEUGELS93] dargestellten Algorithmus auf der Grundlage sog. farbiger selbstorganisierender Kohonen–Karten und (ii) ein topografisches Landmarkenverfahrenmit auf der Grundlage des sog. neural–gas Algorithmus, der ebenfalls eine Karte des freien Raumes generiert, dabei aber flexibler als der Kohonenalgorithmus ist.

2 Das Weltmodell

Das Weltmodell ist eine unbedingte Voraussetzung für die Planungskomponente, in der die Bewegungen und Aktionen des AR geplant werden. Das Weltmodell enthält (1) eine Karte des freien Raumes in dem der AR operiert einschließlich der Position aller Hindernisse und Objekte. Das Weltmodell beschreibt aber (2) auch die Auswirkungen der Aktionen des AR auf die Welt bzw. die Reaktion der Welt auf diese Aktionen. Bei der Darstellung des Raumes unterscheiden wir zwischen Arbeitsraum und Konfigurationsraum.

Der Arbeitsraum (work space) ist der physikalische Raum, in dem der AR sich bewegt. Hier ist der Roboter nur durch seine Position repräsentiert. Der Konfigurationsraum ist ein i.a. höherdimensionaler Raum, in dem die Stellung (Position und Orientierung) des AR als Punkt dargestellt wird. Beispiel: Ein planarer Roboter hat drei Freiheitsgrade – die Position ist durch die Angabe eines Referenzpunktes (Flächenschwerpunkt) festgelegt und die Orientierung durch den Winkel, den eine mit dem AR fest verbundene Referenzachse mit z. B. der x–Achse bildet. Der Konfigurationsraum ist folglich dreidimensional.

Die im folgenden besprochenen Kartierungen können sowohl im Arbeitsraum als auch im physikalischen Raum vorgenommen werden. Wir werden der Einfachheit halber meist von einem punktförmigen Roboter ausgehen für den der Konfigurationsraum mit dem Arbeitsraum identisch ist. Ein wichtiger Vorteil dieser Kartierungen ist, daß sie nur einmal berechnet werden müssen, da sie von Start– und Zielposition des AR unabhängig sind.

3 Bewegungsplanung mit selbstorganisierenden Kohonen–Karten

Die Darstellung in [VLEUGELS93] ist hinreichend ausführlich und kann folglich als Vorlage für das Projekt dienen. Im folgenden sei deshalb nur ein alternatives Verfahren auf der Grundlage des neural–gas Algorithmus ausführlich dargestellt.

4 Bewegungsplanung mit topografischen Landmarkenverfahren

Statt der Kohonen–Karten kann man auch ein System **virtueller** Landmarken mit einer selbstbestimmten Topologie (Verbindungsstruktur) einführen. Als virtuelle Landmarken bezeichnen wir eine Menge $\mathcal{M} = \{\mathbf{w}_1, ..., \mathbf{w}_N\}$ von Punkten im Raum $\Re^n$ (Arbeitsraum oder Konfigurationsraum des AR),die diesen strukturieren. Die Landmarken sollen den (freien) Raum repräsentieren, müssen aber nicht gleichmäßig dicht über diesen verteilt sein. Eine Konzentration von Landmarken an kritischen Stellen kann einer optimalen Navigation dienlich sein. In jedem Fall ist immer ein Kompromiß zwischen der Güte der Repräsentation (Zahl der Landmarken) und dem Aufwand (Speicherplatz, Zeit für Positionierung der Landmarken) zu finden.

Landmarkenverfahren dienen dem adaptiven Erwerb eines Modells des freien Raumes und sind besonders dann hilfreich, wenn der AR zunächst keinerlei Wissen über den Raum hat und sich erst in einer explorativen Phase dieses Wissen verschaffen muß. Das kann so aussehen, daß von einer zufälligen oder heuristischen Initialisierung der Landmarken ausgehend, die Positionen der Landmarken inkrementell mit den einkommenden Positionsmeldungen des AR verbessert werden.

Nehmen wir an, daß die Position $\mathbf{x}$ des Roboters zu diskreten Zeiten $t = 0, 1, ...$ hinreichend verläßlich bekannt ist. Zu jedem Zeitpunkt t geschieht die inkrementelle Verschiebung der Landmarken in den folgenden Schritten:

1. Initialisierung: Wähle $\mathbf{w}_i$ zufällig oder heuristisch aus. Setze alle Verbindungen $C_{ij} = 0$ und die Lebenserwartung der Verbindungen

$T_{ij} = 0$.

2. Ermittle die Rangfolge der Landmarken bezüglich ihres Abstandes relativ zu $\mathbf{x}$, d.h. ordne die Landmarken gemäß

$$\mathbf{w}_{k_1}, \mathbf{w}_{k_2}, \mathbf{w}_{k_3}, ..., \mathbf{w}_{k_N} \tag{1}$$

mit

$$\|\mathbf{x} - \mathbf{w}_{k_1}\| \leq \|\mathbf{x} - \mathbf{w}_{k_2}\| \leq \|\mathbf{x} - \mathbf{w}_{k_3}\| \leq ... \leq \|\mathbf{x} - \mathbf{w}_{k_N}\| \tag{2}$$

Der Rang R der Landmarke $\mathbf{w}_{k_i}$ ist $R(k_i) = i-1$, die $\mathbf{x}$ nächstgelegene Landmarke hat also Rang 0, die zweitnächste Rang 1 usw.

3. Verschiebe die Landmarken gemäß

$$\Delta \mathbf{w}_{k_i} = \epsilon h(k_i)(\mathbf{x} - \mathbf{w}_{ki}) \qquad \forall i = 1, ..., N \tag{3}$$

mit der Nachbarschaftsfunktion

$$h(k_i) = e^{-\frac{R}{2\sigma}} = e^{-\frac{(i-1)}{2\sigma}}$$

und dem globalen Lernparameter $\epsilon < 1$, der im Laufe des Lernens abgekühlt (verkleinert) wird, ebenso wie der Reichweiteparameter σ der Nachbarschaft.

4. Setze $C_{k_1k_2} = 1$. Setze $T_{k_1k_2} = 1$. Für alle i, j:

$$\Delta T_{ij} = -\frac{1}{N} \tag{4}$$

Falls $T_{ij} < T_0$ setze $C_{ij} = 0$. ($T_0 << 1$)

Bemerkungen:

1. Der Sinn der Nachbarschaft ist die Mitnahme von Landmarken aus Gebieten, die nicht im freien Raum liegen. Ist nämlich $\sigma \approx 0$, so wird generell nur die der Position des AR $\mathbf{x}$ zunächst liegende Landmarke verschoben. Weit in den Hindernissen liegende Landmarken haben dann keine Chance jemals bewegt zu werden, d.h. sie bleiben in den Hindernissen liegen.

2.

****

Ein weiterer Vorteil eines solchen inkrementellen Verfahrens ist das beständige Aktualisieren der Position der Landmarken. Damit ist das Verfahren auch in einer dynamischen Umgebung einsetzbar. Ändert sich die Lage der Hindernisse, so werden sich die Landmarken im Laufe der Zeit ebenfalls verschieben.

References

[Kohonen95] T. Kohonen: The self—organizing map. Springer 1995

[Ritter93] H. Ritter, Th. Martinetz, K. Schulten: Neuronale Netze. Addison Wesley, New York, 1993

[VLEUGELS93] J. M. Vleugels, J. N. Kok, M. H. Overmars: Motion planning using a colored Kohonen map. Utrecht University Technical Report RUU-CS-93-83 (1993)