

Multi Robot Routing under Limited Communication Range

Alejandro R. Mosteo, Luis Montano and Michail G. Lagoudakis

Eric Lacher

Seminar Ad Hoc Netzwerke
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Albert-Ludwigs Universität Freiburg - Technische Fakultät

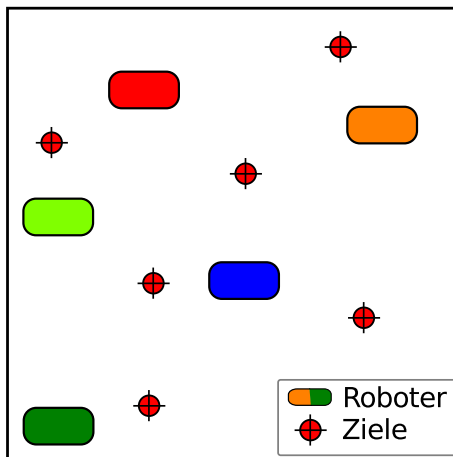
16. Februar 2010



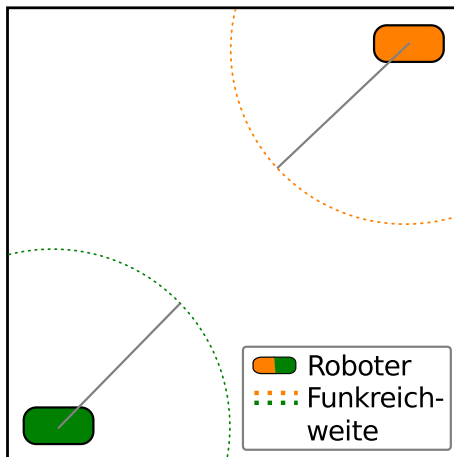
Agenda

- ① Motivation
- ② Problemstellung
- ③ Probleme durch eingeschränkte Funkreichweite
- ④ Clusterbildung
- ⑤ Simulation
- ⑥ Fazit

Multi Robot Routing



Eingeschränkte Reichweite



Agenda

- 1 Motivation
- 2 **Problemstellung**
- 3 Probleme durch eingeschränkte Funkreichweite
- 4 Clusterbildung
- 5 Simulation
- 6 Fazit

Definition (Sinngemäß)

Multi Robot Routing

Ein Team von mobilen Robotern so auf einem Gelände zu bewegen, dass sie alle vorgegebenen (Orts-)Ziele unter Minimierung von Kosten erreichen und damit die Teamaufgabe effizient erfüllen.

Definition (formal)

Teamaufgabe TA

$\mathcal{A} = \{A_1, \dots, A_n\}$ sei eine **Partition der Zielmenge** T

g sei eine Bewertungsfunktion der **Einzelleistung** eines Roboters

f sei eine Funktion zur Bewertung der **Teamleistung**

Dann kann die Teamaufgabe TA nun formalisiert werden als

$$TA = \min_{\mathcal{A}} f\left(g(r_1, A_1), \dots, g(r_n, A_n)\right)$$

Definition (formal)

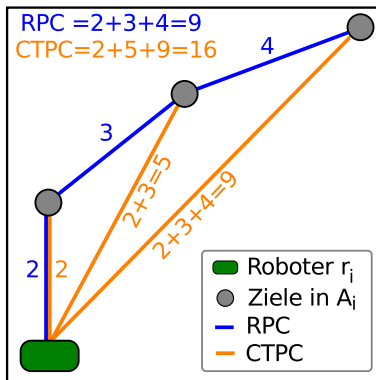
Robot Path Cost

$RPC(r_i, A_i)$: Die Kosten für den Gesamtweg den ein Roboter r_i vom Anfangsort zurücklegt um alle Ziele in A_i zu erreichen.

Cumulative Target Path Cost

$CTPC(r_i, A_i)$: Die Summe aller Wegekosten *vom Anfangsort* bis zu den Zielen in A_i für r_i .

Definition (formal)



Definition (formal)

Kostenfunktionen und Teemaufgabe

Einsetzen von Funktionen für f und g in der Teemaufgabe

$$TA = \min_{\mathcal{A}} f\left(g(r_1, A_1), \dots, g(r_n, A_n)\right)$$

| f | g | TA | Bezeichnung |
|--------------------|--------|---|---------------|
| \sum | RPC | $\min_{\mathcal{A}} \sum_j RPC(r_j, A_j)$ | MinSum |
| \max | RPC | $\min_{\mathcal{A}} \max_j RPC(r_j, A_j)$ | MinMax |
| $\frac{1}{m} \sum$ | $CTPC$ | $\min_{\mathcal{A}} \frac{1}{m} \sum_j CTCPC(r_j, A_j)$ | MinAve |

Definition (formal)

Multi Robot Routing

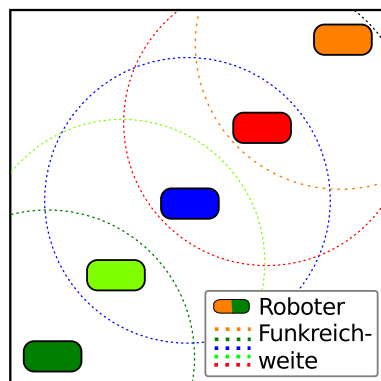
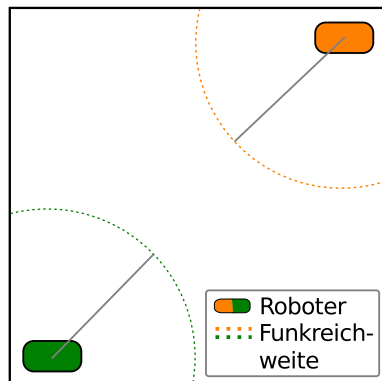
Gesucht: Ein Algorithmus der eine Partition der Ziele findet, bei der entweder MinSum, MinMax, oder MinAve minimal ist.

Agenda

- 1 Motivation
- 2 Problemstellung
- 3 Probleme durch eingeschränkte Funkreichweite
- 4 Clusterbildung
- 5 Simulation
- 6 Fazit

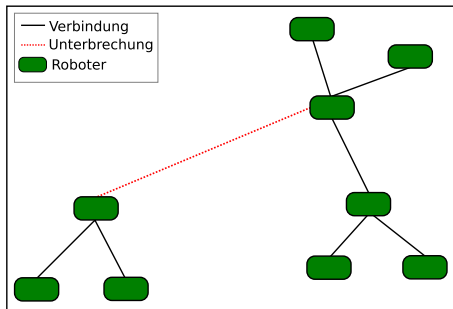
Problem: Nicht immer direkte Kommunikation möglich

Lösung: Bilden von Ketten und dann Kommunikation per Multi-Hop Routing.



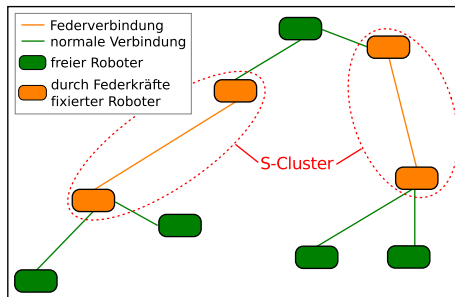
Problem: Kettenstruktur nicht ausreichend

Lösung: Bilden eines Spannergraphen für die Kommunikation.



Problem: Verhindern von Kommunikationsabbrüchen

Lösung: Zwischen Robotern, die sich kritisch weit voneinander entfernen werden sog. "Federn" etabliert. Zwei mit Federkräften verbundene Roboter bewegen sich nicht mehr voneinander weg.



Problem: konträre Interessen der Robotergruppen

Lösung: Intelligente Aufgabenverteilung unter Einbeziehung der S-Cluster

Agenda

- 1 Motivation
- 2 Problemstellung
- 3 Probleme durch eingeschränkte Funkreichweite
- 4 Clusterbildung
- 5 Simulation
- 6 Fazit

Cluster

Ein Team von Robotern denen ein Ziel zugewiesen wird.

Problemstellung

Welche und wie viele Roboter werden einem Ziel zugewiesen?

Greedy

Vergib das Ziel an den Roboter, der sich am nächsten dazu befindet. Befindet sich der Roboter in einem S-Cluster, so vergib allen durch den S-Cluster verbundenen Robotern dieses Ziel.

Uhrzeigersinn

Vergib die Ziele im Uhrzeigersinn, vom Geländemittelpunkt aus gesehen.

TSP

Berechne einen globalen Plan (nach dem Traveling Salesman Prinzip) für die Reihenfolge der Ziele, und vergib diese dann an die S-Cluster.

Auktionsbasiert

Schätzen: wie viele Roboter benötigt man für ein bestimmtes Ziel?
Sortieren der Ziele nach Aufwand.

Schätzungsgrundlage

Abstand des Ziels vom Geländemittelpunkt geteilt durch die
Funkreichweite der Roboter.

Auktionsbasiert

Bei n Robotern gibt es n Auktionsrunden:

1. $N = 1$

In der ersten Runde werden die Ziele vergeben, die nur einen Roboter benötigen. (maximal $\frac{n}{1} = n$ Ziele gleichzeitig)

2. $N = 2$

In der zweiten Runde werden die Ziele vergeben, die genau zwei Roboter erfordern. (maximal $\frac{n}{2}$ Ziele gleichzeitig)

...

n . $N = n$

In der letzten Runde werden die Ziele vergeben die alle Roboter zur Bewältigung der Distanz erfordern. (nur ein Ziel ($\frac{n}{N} = 1$) gleichzeitig)

Agenda

- 1 Motivation
- 2 Problemstellung
- 3 Probleme durch eingeschränkte Funkreichweite
- 4 Clusterbildung
- 5 **Simulation**
- 6 Fazit

Setup

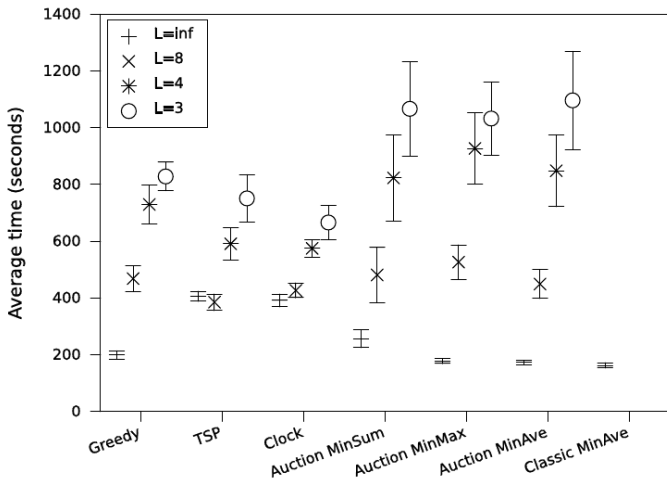
- Player/Stage robot simulator^a
- 8 Roboter
- 100 Ziele
- Geländeradius: 24 LE^b

^a<http://playerstage.sourceforge.net/>

^bLängeneinheiten

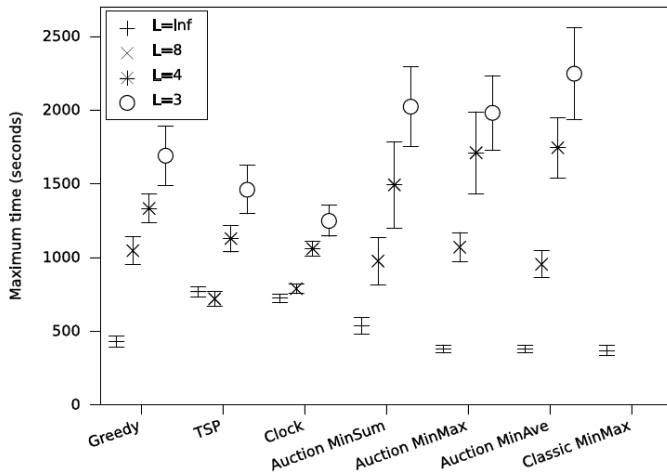
4 Werte für die Funkreichweite L :

- (a) $L = \infty$: Direkter Funkkontakt mit allen beteiligten Robotern (keine Federn).
- (b) $L = 8LE$: Es werden höchstens 3 Roboter für ein Ziel benötigt.
- (c) $L = 4LE$: Es werden höchstens 6 Roboter für ein Ziel benötigt.
- (d) $L = 3LE$: Es werden alle 8 Roboter für ein Ziel benötigt.



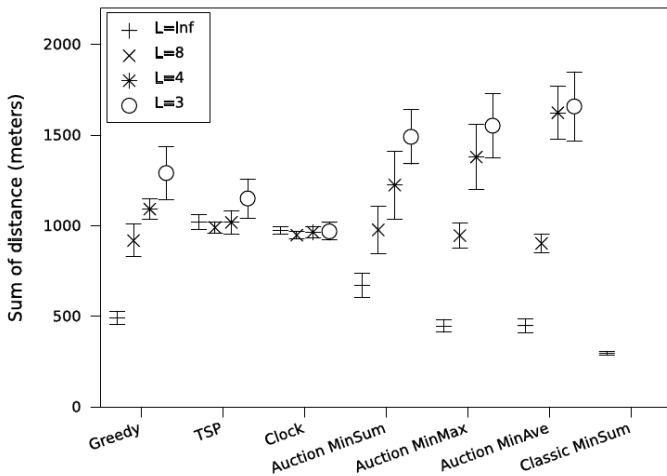
1

¹Quelle: Paper[3]



2

²Quelle: Paper[3]

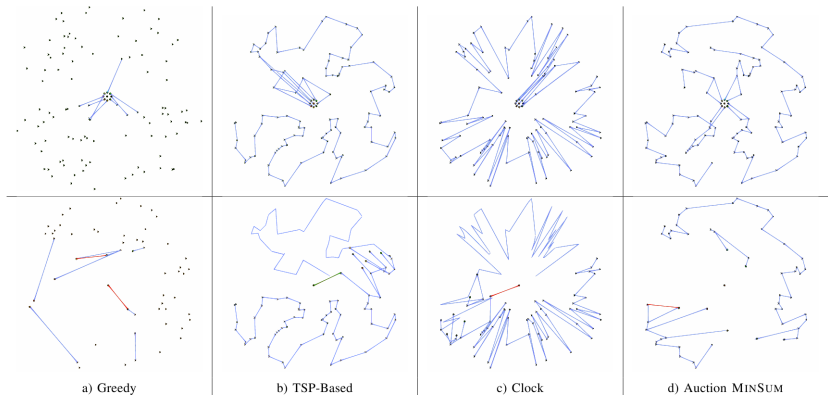


3

³Quelle: Paper[3]

Ergebnisse

- Auktionsbasierte Verfahren schlechter als TSP/Uhrzeigersinn/Greedy, wenn Funkreichweite eingeschränkt
- Auktionsbasierte schneiden am besten ab ohne eingeschränkte Funkreichweite
- Uhrzeigersinn schneidet überraschend gut ab



⁴Quelle: Paper[3]

Agenda

- 1 Motivation
- 2 Problemstellung
- 3 Probleme durch eingeschränkte Funkreichweite
- 4 Clusterbildung
- 5 Simulation
- 6 Fazit

Clusterbildung

- Bereits bekannte Verfahren verwendet
- Auktionsbasierte Verfahren enttäuschend

Graph/Federkräfte

- Verfahren funktionierte gut
- "Sweeping"-Verhalten \Rightarrow effizient

Folgepaper

2008

MM08B: *Guaranteed-Performance Multi-Robot Routing under Limited Communication Range:*

Entwicklung eines Algorithmus für nicht-barrierefreies Gelände

2009

MM09: *Concurrent tree traversals for improved mission performance under limited communication range:*

Verbesserung des Algorithmus aus MM08B. (Parallelverarbeitung)



Alejandro R. Mosteo and Luis Montano.

Concurrent tree traversals for improved mission performance under limited communication range.

In International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2009.



Alejandro R. Mosteo, Luis Montano, and Michail G. Lagoudakis.

Guaranteed-performance multi-robot routing under limited communication range.

In International Symposium on Distributed Autonomous Robotics Systems, 2008.



Alejandro R. Mosteo, Luis Montano, and Michail G. Lagoudakis.

Multi-robot routing under limited communication range.

In International Conference on Robotics and Automation, 2008.