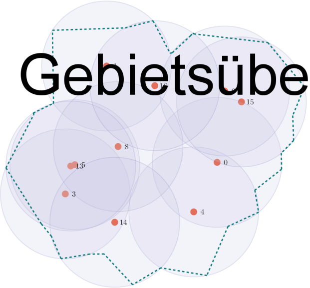
Jahrestagung GRK1194 – Oktober 2009

Dennis Schieferdecker – *dennis.schieferdecker@kit.edu*

GRK 1194: Self-organizing Sensor-Actuator-Networks

Gebietsüberwachung

und andere Dinge...



Karlsruher Institut für Technologie

- I -

Gebietsüberwachung

mit Sensorknoten

Gebietsüberwachung

Einführung

Karlsruher Institut für Technologie

Problemstellung

- Datenaufzeichnung in Gebiet *A* mit Mindestauflösung *r* für einen maximalen Zeitraum *T*

gegeben:

- Gebiet *A*
- Menge an Sensorknoten *S* (begrenzte Kapazität *B*)
- Mindestauflösung *r*

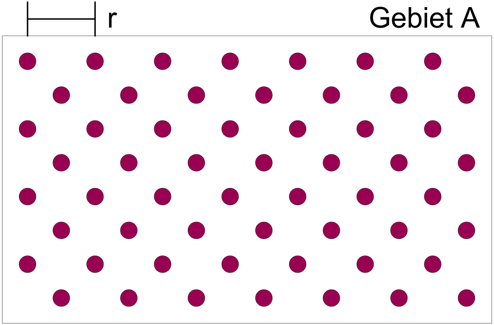
gesucht:

- Max. Aufzeichnungsdauer *T*
- Schedule für jeden Sensorknoten

Gebietsüberwachung
Einführung

Beispiel

- nicht alle Sensoren werden zu jeder Zeit benötigt
- geschickte Auswahl, um Aufzeichnungsdauer zu maximieren

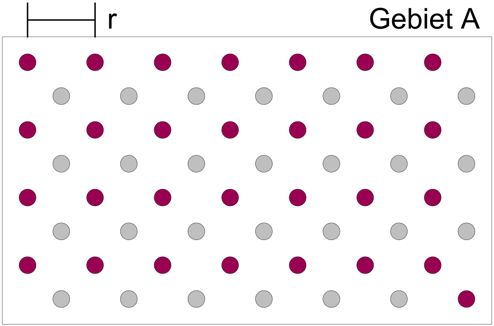


Gebietsüberwachung

Einführung

Beispiel

- nicht alle Sensoren werden zu jeder Zeit benötigt
- geschickte Auswahl, um Aufzeichnungsdauer zu maximieren

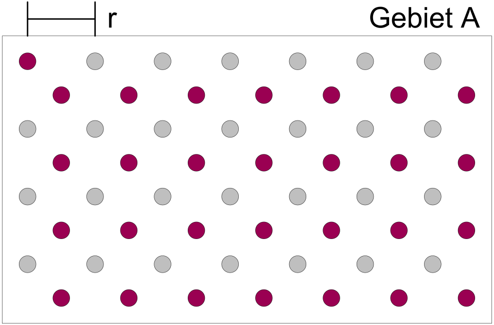


Gebietsüberwachung

Einführung

Beispiel

- nicht alle Sensoren werden zu jeder Zeit benötigt
- geschickte Auswahl, um Aufzeichnungsdauer zu maximieren



Gebietsüberwachung

Mindestauflösung

Definition: Mindestauflösung

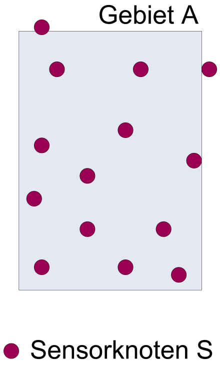
- Maximum über die minimalen Abstände zwischen jedem Punkt in *A* und allen Sensoren *S*

Geometrische Modellierung

- Kreise mit Radius *r* um jeden Knoten
- Gebiet *A* von Kreisen abgedeckt, $\Rightarrow$ kein Punkt in *A* weiter als *r* von einem Sensorknoten entfernt

Definition: Cover

- Menge von Sensorknoten, deren Kreise *A* abdecken



Gebietsüberwachung

Mindestauflösung

Definition: Mindestauflösung

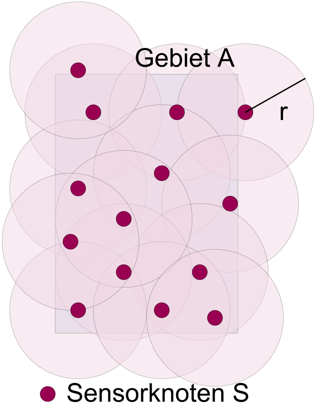
- Maximum über die minimalen Abstände zwischen jedem Punkt in A und allen Sensoren S

Geometrische Modellierung

- Kreise mit Radius r um jeden Knoten
- Gebiet A von Kreisen abgedeckt, $\Rightarrow$ kein Punkt in A weiter als r von einem Sensorknoten entfernt

Definition: Cover

- Menge von Sensorknoten, deren Kreise A abdecken



Gebietsüberwachung

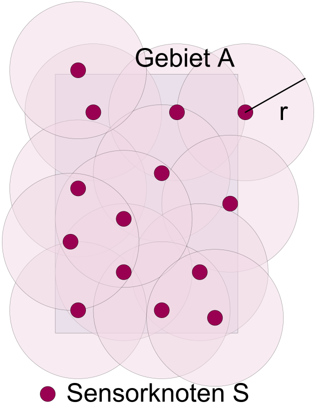
Mindestauflösung

Definition: Mindestauflösung

- Maximum über die minimalen Abstände zwischen jedem Punkt in A und allen Sensoren S

Geometrische Modellierung

- Kreise mit Radius r um jeden Knoten
- Gebiet A von Kreisen abgedeckt,
  $\Rightarrow$ kein Punkt in A weiter als r von einem Sensorknoten entfernt



Definition: Cover

- Menge von Sensorknoten, deren Kreise A abdecken

Gebietsüberwachung

Mindestauflösung

Definition: Mindestauflösung

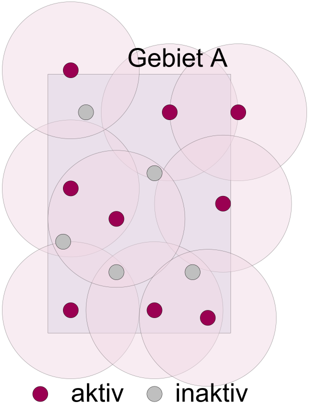
- Maximum über die minimalen Abstände zwischen jedem Punkt in A und allen Sensoren S

Geometrische Modellierung

- Kreise mit Radius r um jeden Knoten
- Gebiet A von Kreisen abgedeckt, $\Rightarrow$ kein Punkt in A weiter als r von einem Sensorknoten entfernt

Definition: Cover

- Menge von Sensorknoten, deren Kreise A abdecken



Gebietsüberwachung

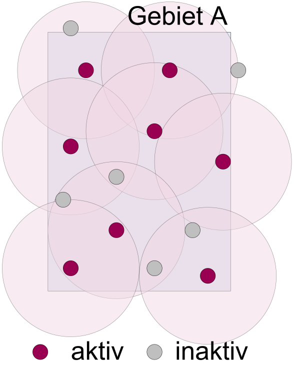
Mindestauflösung

Definition: Mindestauflösung

- Maximum über die minimalen Abstände zwischen jedem Punkt in A und allen Sensoren S

Geometrische Modellierung

- Kreise mit Radius r um jeden Knoten
- Gebiet A von Kreisen abgedeckt,
  $\Rightarrow$ kein Punkt in A weiter als r von einem Sensorknoten entfernt



Definition: Cover

- Menge von Sensorknoten, deren Kreise A abdecken

Gebietsüberwachung

Modellierung als Lineares Programm (LP)

Zu maximieren: Aufzeichnungsdauer

$$\mathrm{T} = \sum_{j=1}^{m} \underline{t}_j$$

Nebenbedingungen: begrenzte Knotenkapazitäten

$$\sum_{j=1}^{m} \mathbf{C}_{ij}\, \underline{t}_j \leq \underline{b}_i \qquad i = 1, \ldots, n$$

- n : Anzahl Sensoren, m : Anzahl Covers
- $\underline{t}_j$: Dauer für Cover $\underline{C}_j$ aktiv
- $\mathbf{C}_{ij}$: 1, wenn Knoten i in Cover $\underline{C}_j$ aktiv, sonst 0
- $\underline{b}_i$: Kapazität von Knoten i

Gebietsüberwachung

Theorie

Beweis-Skizze der NP-Härte des Problems

- aus *Linear Programming* Theorie:
  - Duales LP zu einem LP gleich schwer zu lösen
  - Separationsproblem zu einem LP gleich schwer zu lösen
- aus *Graphentheorie*:
  - gewichtetes MDS auf Unit-Disk Graphen ist np-hart
  - Entscheidungsvariante von MDS auf MC-GDC reduzierbar
- MC-GDC äquivalent zu Separationsproblem für unser duales LP
  $\Rightarrow$ unser LP ist np-hart

Definition: MC-GDC

- Kann Punktmenge P von Kreisscheiben $D \subseteq N$ mit totalen Kosten kleiner $C \leq \sum_{i \in D} c_i$ abgedeckt werden?

Fakultät für Informatik

Gebietsüberwachung

Theorie

Approximationsalgorithmus

- lineare Laufzeit in n:

$$O\left(n + {}^{1}/_{\epsilon} \cdot \frac{\epsilon^2 n}{opt_1} \cdot f\left(O\left({}^{1}/_{\delta^2\epsilon^2}\right)\right)\right)$$

- Approximationsgarantie:

$$T_1 \geq (1 - \epsilon) \cdot opt_{(1-\delta)}$$

- reduziere Sensorpositionen auf Gitterpunkte: $T_1 \geq opt_{(1-\delta)}$
- verteile Berechnung auf kleine Kacheln: $T_1 \geq (1 - \epsilon) \cdot opt_1$

Gebietsüberwachung

Theorie

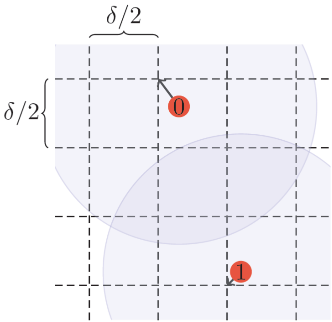
Approximationsalgorithmus

- lineare Laufzeit in n:

$$O(n + {}^1/_\epsilon \cdot \frac{\epsilon^2 n}{opt_1} \cdot f(O({}^1/_{\delta^2\epsilon^2}))$$

- Approximationsgarantie:

$$T_1 \geq (1 - \epsilon) \cdot opt_{(1-\delta)}$$



- reduziere Sensorpositionen auf Gitterpunkte: $T_1 \geq opt_{(1-\delta)}$
- verteile Berechnung auf kleine Kacheln: $T_1 \geq (1 - \epsilon) \cdot opt_1$

Fakultät für Informatik

Gebietsüberwachung

Theorie

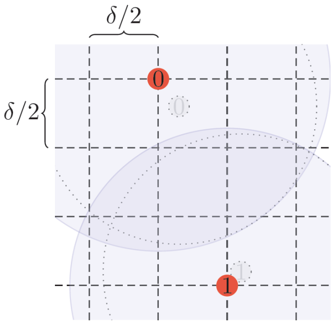
Approximationsalgorithmus

- lineare Laufzeit in n:

$$O\left(n + {}^{1}/_{\epsilon} \cdot \frac{\epsilon^2 n}{opt_1} \cdot f\left(O\left({}^{1}/_{\delta^2 \epsilon^2}\right)\right)\right)$$

- Approximationsgarantie:

$$T_1 \geq (1 - \epsilon) \cdot opt_{(1-\delta)}$$



- reduziere Sensorpositionen auf Gitterpunkte: $T_1 \geq opt_{(1-\delta)}$
- verteile Berechnung auf kleine Kacheln: $T_1 \geq (1 - \epsilon) \cdot opt_1$

Fakultät für Informatik

Gebietsüberwachung

Theorie

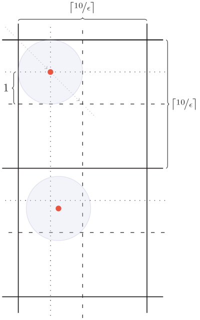
Approximationsalgorithmus

- lineare Laufzeit in n:

$$O\left(n + {}^{1}/_{\epsilon} \cdot \frac{\epsilon^2 n}{opt_1} \cdot f\left(O\left({}^{1}/_{\delta^2\epsilon^2}\right)\right)\right)$$

- Approximationsgarantie:

$$T_1 \geq (1-\epsilon) \cdot opt_{(1-\delta)}$$



- reduziere Sensorpositionen auf Gitterpunkte: $T_1 \geq opt_{(1-\delta)}$
- verteile Berechnung auf kleine Kacheln: $T_1 \geq (1-\epsilon) \cdot opt_1$

Karlsruher Institut für Technologie
Fakultät für Informatik

Gebietsüberwachung

Exakte Lösungen

Ansatz

- Lineares Programm gegeben
- Lösung mit LP-Solver, z.B. CPLEX

Problem

- exponentiell viele mögliche Covers
- vollständige Matrix **C** zu groß, um explizit berechnet zu werden

erste Lösungsstrategie

- Column Generation Verfahren (CG)

Gebietsüberwachung
Ablauf-Schema

Eingabe

↓

CPLEX

↓

Lösung

Gebietsüberwachung

Exakte Lösungen

Ansatz

- Lineares Programm gegeben
- Lösung mit LP-Solver, z.B. CPLEX

Problem

- exponentiell viele mögliche Covers
- vollständige Matrix **C** zu groß, um explizit berechnet zu werden

erste Lösungsstrategie

- Column Generation Verfahren (CG)

Gebietsüberwachung

Exakte Lösungen

Ansatz

- Lineares Programm gegeben
- Lösung mit LP-Solver, z.B. CPLEX

Problem

- exponentiell viele mögliche Covers
- vollständige Matrix **C** zu groß, um explizit berechnet zu werden

erste Lösungsstrategie

- Column Generation Verfahren (CG)

Gebietsüberwachung

Column Generation Verfahren

Ablauf

1. wähle initiale Menge an Covers $\hat{\mathbf{C}} = [\underline{C}_1, \ldots, \underline{C}_k]$
   - z.B. nur ein Cover mit allen Sensoren eingeschaltet
2. löse LP $\max\{\sum_{j=1}^{m} \underline{t}_j \mid \hat{\mathbf{C}}\underline{t} \leq \underline{b},\ \underline{t}_j \geq 0\}$
   - sei $\hat{\underline{t}}$ Lösung, $\hat{\underline{w}}$ duale Lösung
3. löse Orakel-ILP $\min\{\underline{C}^{\mathsf{T}}\hat{\underline{w}} - 1 \mid \underline{C} \in \mathbf{C}\} = W$,
   - $W < 0$: $\underline{C}$ ist gültiges Cover, füge es $\hat{\mathbf{C}}$ hinzu
   - $W \geq 0$: $\{\hat{\mathbf{C}}, \hat{\underline{t}}\}$ ist optimale Lösung für das Problem
   - Orkal-ILP ist ein min-set-cover Problem
4. optimale Lösung nicht gefunden?

   $\Rightarrow$ wiederhole ab Schritt 2

KIT Karlsruher Institut für Technologie
Fakultät für Informatik

Gebietsüberwachung

Column Generation Verfahren

Ablauf

1. wähle initiale Menge an Covers $\hat{\mathbf{C}} = [\underline{C}_1, \ldots, \underline{C}_k]$
   - z.B. nur ein Cover mit allen Sensoren eingeschaltet
2. löse LP $\max\{\sum_{j=1}^{m} \underline{t}_j \mid \hat{\mathbf{C}}\underline{t} \leq \underline{b},\ \underline{t}_j \geq 0\}$
   - sei $\hat{\underline{t}}$ Lösung, $\hat{\underline{w}}$ duale Lösung
3. löse Orakel-ILP $\min\{\underline{C}^{\mathsf{T}}\hat{\underline{w}} - 1 \mid \underline{C} \in \mathbf{C}\} = W$,
   - $W < 0$: $\underline{C}$ ist gültiges Cover, füge es $\hat{\mathbf{C}}$ hinzu
   - $W \geq 0$: $\{\hat{\mathbf{C}}, \hat{\underline{t}}\}$ ist optimale Lösung für das Problem
   - Orkal-ILP ist ein min-set-cover Problem
4. optimale Lösung nicht gefunden?

   $\Rightarrow$ wiederhole ab Schritt 2

Gebietsüberwachung

Column Generation Verfahren

Ablauf

1. wähle initiale Menge an Covers $\hat{\mathbf{C}} = [\underline{C}_1, \ldots, \underline{C}_k]$
   - z.B. nur ein Cover mit allen Sensoren eingeschaltet
2. löse LP $\max\{\sum_{j=1}^{m} \underline{t}_j \mid \hat{\mathbf{C}}\underline{t} \leq \underline{b},\ \underline{t}_j \geq 0\}$
   - sei $\hat{\underline{t}}$ Lösung, $\hat{\underline{w}}$ duale Lösung
3. löse Orakel-ILP $\min\{\underline{C}^{\mathrm{T}}\hat{\underline{w}} - 1 \mid \underline{C} \in \mathbf{C}\} = W$,
   - $W < 0$: $\underline{C}$ ist gültiges Cover, füge es $\hat{\mathbf{C}}$ hinzu
   - $W \geq 0$: $\{\hat{\mathbf{C}}, \hat{\underline{t}}\}$ ist optimale Lösung für das Problem
   - Orkal-ILP ist ein min-set-cover Problem
4. optimale Lösung nicht gefunden?

   $\Rightarrow$ wiederhole ab Schritt 2

Gebietsüberwachung

Column Generation Verfahren

Ablauf

1. wähle initiale Menge an Covers $\hat{\mathbf{C}} = [\underline{C}_1, \ldots, \underline{C}_k]$
   - z.B. nur ein Cover mit allen Sensoren eingeschaltet
2. löse LP $\max\{\sum_{j=1}^{m} \underline{t}_j \mid \hat{\mathbf{C}}\underline{t} \leq \underline{b},\ \underline{t}_j \geq 0\}$
   - sei $\hat{\underline{t}}$ Lösung, $\hat{\underline{w}}$ duale Lösung
3. löse Orakel-ILP $\min\{\underline{C}^{\mathrm{T}}\hat{\underline{w}} - 1 \mid \underline{C} \in \mathbf{C}\} = W$,
   - $W < 0$: $\underline{C}$ ist gültiges Cover, füge es $\hat{\mathbf{C}}$ hinzu
   - $W \geq 0$: $\{\hat{\mathbf{C}}, \hat{\underline{t}}\}$ ist optimale Lösung für das Problem
   - Orkal-ILP ist ein min-set-cover Problem
4. optimale Lösung nicht gefunden?

   $\Rightarrow$ wiederhole ab Schritt 2

Gebietsüberwachung

Ablauf-Schema

Eingabe

↓

Column Generation

CPLEX

↓

Lösung

Gebietsüberwachung
Garg-Könemann Approximationsverfaren

Karlsruher Institut für Technologie

Frage:

- Kann man die initiale Menge an Covers $\hat{\mathbf{C}}$ besser wählen?

Mögliche Lösung:

- Ergebnis eines Approximations-Algorithmus als Eingabe
- hier: Garg-Könemann-Algorithmus (GK)
  - $(1-\epsilon)\cdot f$-Approximation für Packungsprobleme, benötigt f-Approximation für min-set-cover Probleme
  - Laufzeit: $O(n/\epsilon \cdot \log_{1-\epsilon} n \cdot T_{msc})$

- Optimierung: GK nur einige Covers berechnen lassen
  $\Rightarrow$ GK-Phase schneller, CG-Phase ev. auch

Gebietsüberwachung

Garg-Könemann Approximationsverfaren

Frage:

- Kann man die initiale Menge an Covers $\hat{\mathbf{C}}$ besser wählen?

Mögliche Lösung:

- Ergebnis eines Approximations-Algorithmus als Eingabe
- hier: Garg-Könemann-Algorithmus (GK)
  - $(1-\epsilon) \cdot f$-Approximation für Packungsprobleme, benötigt f-Approximation für min-set-cover Probleme
  - Laufzeit: $O(n/\epsilon \cdot \log_{1-\epsilon} n \cdot T_{msc})$

- Optimierung: GK nur einige Covers berechnen lassen
  $\Rightarrow$ GK-Phase schneller, CG-Phase ev. auch

Gebietsüberwachung

Garg-Könemann Approximationsverfaren

Karlsruher Institut für Technologie

Frage:

- Kann man die initiale Menge an Covers $\hat{\mathbf{C}}$ besser wählen?

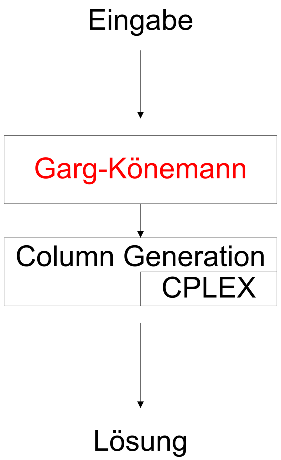
Mögliche Lösung:

- Ergebnis eines Approximations-Algorithmus als Eingabe
- hier: Garg-Könemann-Algorithmus (GK)
  - $(1-\epsilon) \cdot f$-Approximation für Packungsprobleme, benötigt f-Approximation für min-set-cover Probleme
  - Laufzeit: $O(n/\epsilon \cdot \log_{1-\epsilon} n \cdot T_{msc})$

- Optimierung: GK nur einige Covers berechnen lassen
  $\Rightarrow$ GK-Phase schneller, CG-Phase ev. auch

Gebietsüberwachung

Ablauf-Schema



Gebietsüberwachung

Perturbation - allgemein

Grundidee

- viele identische Lösungen oft problematisch für LP Solver
- variiere Werte um Symmetrien zu brechen

Verwendung

- perturbiere duale Lösung $\underline{\hat{w}}$ für Orakel in CG
  - ersetze alle $\underline{\hat{w}}_j$ mit $\underline{\hat{w}}_i = 0$ durch $\underline{\hat{w}}_i \in [-\epsilon_1, \epsilon_1]$
  - ändert Lösung nicht!
- perturbiere Knotenkapazitäten
  - z.B. statt $b_j = 1$ f.a. j, $b_j \in [1, 1 + \epsilon_2]$
  - ändert Lösung!

Gebietsüberwachung

Perturbation - allgemein

Grundidee

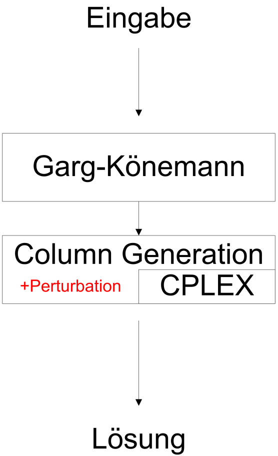
- viele identische Lösungen oft problematisch für LP Solver
- variiere Werte um Symmetrien zu brechen

Verwendung

- perturbiere duale Lösung $\underline{\hat{w}}$ für Orakel in CG
  - ersetze alle $\underline{\hat{w}}_j$ mit $\underline{\hat{w}}_i = 0$ durch $\underline{\hat{w}}_i \in [-\epsilon_1, \epsilon_1]$
  - ändert Lösung nicht!
- perturbiere Knotenkapazitäten
  - z.B. statt $b_j = 1$ f.a. j, $b_j \in [1, 1 + \epsilon_2]$
  - ändert Lösung!

Gebietsüberwachung

Ablauf-Schema



Gebietsüberwachung

Perturbation - allgemein

Grundidee

- viele identische Lösungen oft problematisch für LP Solver
- variiere Werte um Symmetrien zu brechen

Verwendung

- perturbiere duale Lösung $\underline{\hat{w}}$ für Orakel in CG
  - ersetze alle $\underline{\hat{w}}_j$ mit $\underline{\hat{w}}_i = 0$ durch $\underline{\hat{w}}_i \in [-\epsilon_1, \epsilon_1]$
  - ändert Lösung nicht!
- perturbiere Knotenkapazitäten
  - z.B. statt $b_j = 1$ f.a. j, $b_j \in [1, 1 + \epsilon_2]$
  - ändert Lösung!

Gebietsüberwachung

Perturbation - Knotenkapazitäten

Problem

- geänderte Knotenkapazitäten verändern Aufzeichnungsdauer
- erst große Variationen beschleunigen LP Berechnung signifikant
  $\Rightarrow$ große Änderung an Ergebnis

Lösungsansatz

- perturbiere Knotenkapazitäten
- löse geändertes Problem
- verwende berechnete Covers als neue Eingabe
  zur Lösung für das Orginalproblem

Gebietsüberwachung

Ablauf-Schema

Eingabe

↓

Garg-Könemann

↓

Perturbation
der Sensorkapazitäten

↓

Column Generation
+Perturbation | CPLEX

↓

Zweiter CG Lauf
mit Orginal-Sensorkapazitäten

↓

Lösung

Gebietsüberwachung

Ergebnisse

Karlsruher Institut für Technologie

Struktur der Instanzen

- 20 - 2 000 Sensorknoten
- Dichte zwischen 1.0 - 10.0
- zufällig verteilt in Quadrat passender Kantenlänge
- Gebiet A definiert als mindestens fünffach überdeckte Fläche

verwendete Soft- und Hardware

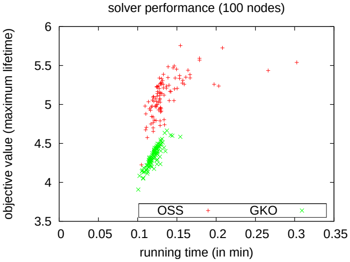
- g++ 4.3.1, CPLEX 11.2, OpenSuse 11.0 (x64)
- Intel Core2 Duo 8400, 4GByte RAM

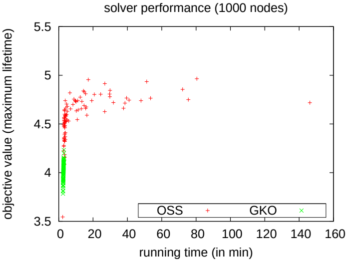
Gebietsüberwachung

Ergebnisse

Schwankung der Lösungen

- Laufzeit stark von der konkreten Instanz abhängig
- langer Schwanz mit hohen Laufzeiten
  - ausgeprägter für
    (a) längere Maximallaufzeit, (b) größere Knotenanzahl
  - Optimierung duch Laufzeitbeschränkung:
    z.B. beenden nach 200s $\rightarrow$ nur 1.5% schlechtere Ergebnisse





Fakultät für **Informatik**

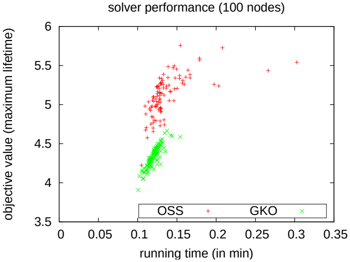
Gebietsüberwachung

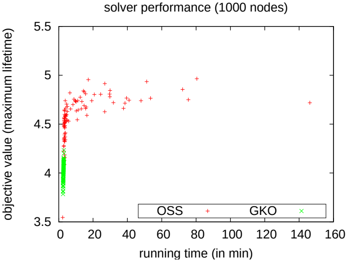
Ergebnisse

Diskussion

- optimale Lösung ca. 20% besser als Lösung von GK,
- CG findet diese aus GK Lösung meist in unter 10 Iterationen
  - d.h. nur 10 Covers trennten die GK Lösung vom Optimum

- Medianlaufzeiten wachsen ca. mit n^2
  - Aussreißer wachsen allerdings stärker





Gebietsüberwachung

Ergebnisse

Auswirkung der Optimierungen

- Perturbation der dualen Lösungen (p): $+$
- GK-Lösungen als Eingabe (g): $+$
  - vorzeitiger GK-Abbruch beschleunigt um weiteren Faktor $2 - 10$
- Pertubation der Knotenkapazitäten: $-$
  - ohne Korrekturlauf etwas schneller, mit langsamer

Zahlwerte

- Medianwerte über 100 Instanzen zu 200 Sensoren

Technik	Berechnung	Anzahl Cover
$-$	9 789.7s	187
p	114.2s	97
g	94.2s	187
gp	46.1s	145

Gebietsüberwachung

Nachoptimierung der Lösung

Karlsruher Institut für Technologie

Reduzierung der Ein-/Ausschaltvorgänge

- Ein- und Ausschalten kostet Energie

Ziel:

- Schaltvorgänge minimieren, durch
- bessere zeitliche Anordnung der Covers

Ansatz:

- Modellierung als Traveling-Salesman Problem

Gebietsüberwachung

Nachoptimierung der Lösung

Reduzierung der Ein-/Ausschaltvorgänge

- Ein- und Ausschalten kostet Energie

Ziel:

- Schaltvorgänge minimieren, durch
- bessere zeitliche Anordnung der Covers

Ansatz:

- Modellierung als Traveling-Salesman Problem

Gebietsüberwachung

Nachoptimierung der Lösung

Reduzierung der Ein-/Ausschaltvorgänge

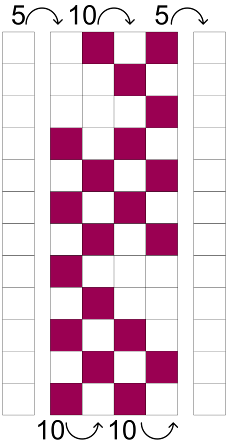
- Ein- und Ausschalten kostet Energie

Ziel:

- Schaltvorgänge minimieren, durch
- bessere zeitliche Anordnung der Covers

Ansatz:

- Modellierung als Traveling-Salesman Problem



Gebietsüberwachung

Nachoptimierung der Lösung

Reduzierung der Ein-/Ausschaltvorgänge

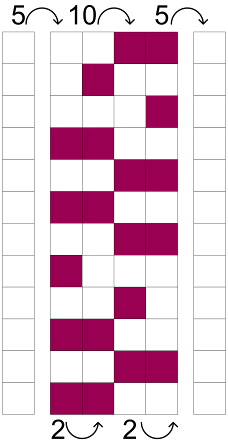
- Ein- und Ausschalten kostet Energie

Ziel:

- Schaltvorgänge minimieren, durch
- bessere zeitliche Anordnung der Covers

Ansatz:

- Modellierung als Traveling-Salesman Problem



KIT Karlsruher Institut für Technologie
Fakultät für Informatik

Gebietsüberwachung

Nachoptimierung der Lösung

Reduzierung der Ein-/Ausschaltvorgänge

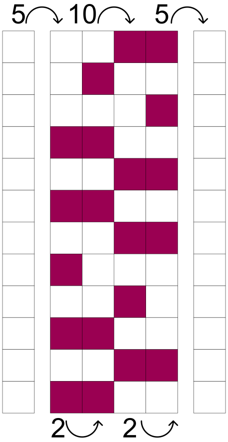
- Ein- und Ausschalten kostet Energie

Ziel:

- Schaltvorgänge minimieren, durch
- bessere zeitliche Anordnung der Covers

Ansatz:

- Modellierung als
  Traveling-Salesman Problem



Gebietsüberwachung

Nachoptimierung der Lösung

Modellierung

- Stadt $\widehat{=}$ Cover
- Distanz zwischen 2 Städten $\widehat{=}$
  Anzahl Zustandsänderungen zwischen 2 Covers
- leeres Cover am Anfang und Ende

$\Rightarrow$ Rundreise minimaler Distanz $\widehat{=}$
Schedule mit minimaler Anzahl Zustandsänderungen

Berechnung

- viele gute TSP Heuristiken (LKH)

Gebietsüberwachung

Nachoptimierung der Lösung

Ergebnisse

- sehr kurze Laufzeiten
  $\Rightarrow$ einfache TSP-Instanzen
- ca. 50% besser als triviale Lösung
  $\Rightarrow$ bei Cover-Wechsel hält Hälfte aktiver Sensoren den Zustand

Zahlwerte

Sensoren	Covers	Berechnung	Schaltvorgänge	optimiert
100	93	0.1s	5 394	2 416
1 000	481	1.6s	301 106	177 310
1 000	694	2.9s	449 712	257 548
2 000	1 106	8.5s	1 444 442	858 752

Gebietsüberwachung

Weitere Verbesserungsmöglichkeiten

Ansätze

- Minimierung der Anzahl an Covers in der optimalen Lösung
- Einbeziehung weiterer Kosten in das LP
  - Ein- und Ausschaltekosten
  - Kommunikationskosten
- Weitere Approximationsansätze
  - nur $(1-\epsilon)$-Überdeckung des Gebiets
  - "graceful decay", bei langsam aufgebrauchten Knoten
  - Problemausdünnung durch Zusammenfassen von Sensoren
- Dynamisierung
  - wie ändert der Ausfall von Knoten die optimale Lösung?

Gebietsüberwachung

Weitere Verbesserungsmöglichkeiten

Ansätze

- Minimierung der Anzahl an Covers in der optimalen Lösung
- Einbeziehung weiterer Kosten in das LP
  - Ein- und Ausschaltekosten
  - Kommunikationskosten
- Weitere Approximationsansätze
  - nur $(1-\epsilon)$-Überdeckung des Gebiets
  - "graceful decay", bei langsam aufgebrauchten Knoten
  - Problemausdünnung durch Zusammenfassen von Sensoren
- Dynamisierung
  - wie ändert der Ausfall von Knoten die optimale Lösung?

Gebietsüberwachung

Weitere Verbesserungsmöglichkeiten

Ansätze

- Minimierung der Anzahl an Covers in der optimalen Lösung
- Einbeziehung weiterer Kosten in das LP
  - Ein- und Ausschaltekosten
  - Kommunikationskosten
- Weitere Approximationsansätze
  - nur $(1 - \epsilon)$-Überdeckung des Gebiets
  - "graceful decay", bei langsam aufgebrauchten Knoten
  - Problemausdünnung durch Zusammenfassen von Sensoren
- Dynamisierung
  - wie ändert der Ausfall von Knoten die optimale Lösung?

Gebietsüberwachung

Weitere Verbesserungsmöglichkeiten

Ansätze

- Minimierung der Anzahl an Covers in der optimalen Lösung
- Einbeziehung weiterer Kosten in das LP
  - Ein- und Ausschaltekosten
  - Kommunikationskosten
- Weitere Approximationsansätze
  - nur $(1-\epsilon)$-Überdeckung des Gebiets
  - "graceful decay", bei langsam aufgebrauchten Knoten
  - Problemausdünnung durch Zusammenfassen von Sensoren
- Dynamisierung
  - wie ändert der Ausfall von Knoten die optimale Lösung?

- II -

Ausblick

weiteres Vorgehen

Ausblick

Pläne für den verbleibenden Förderungszeitraum

Themengebiete

- Gebietsüberwachung
- Routing
- Weitere Themen

Gebietsüberwachung

- weitgehend abgeschlossen
- Paper zu praktischen Aspekten und NP-Beweis eingereicht
- Paper zu Approximationsalgorithmus kommt noch
- Verbesserungsmöglichkeiten ev. als SA / DA

Ausblick

Pläne für den verbleibenden Förderungszeitraum

Themengebiete

- Gebietsüberwachung
- Routing
- Weitere Themen

Routing

- Vorwissen am Institut ausnutzen (CH, TNR)
- Übertragung der Ideen auf Sensornetzwerke
  - Hierarchie-Bildung
  - Routing auf virtuellen Netzen höherer Ebenen
- Verbesserung von Kfz-Routing durch Sensornetze
  - taktische Routenplanung
  - Sensoren in Ampeln, . . .

Ausblick

Pläne für den verbleibenden Förderungszeitraum

Karlsruher Institut für Technologie

Themengebiete

- Gebietsüberwachung
- Routing
- Weitere Themen

Weitere Themen

- Energie-Effizienz von
  - Daten-Aggregations-Verfahren
  - Location Services
  - Scheduling-Verfahren
- Clustering
- Network Coding

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Zeit für Fragen