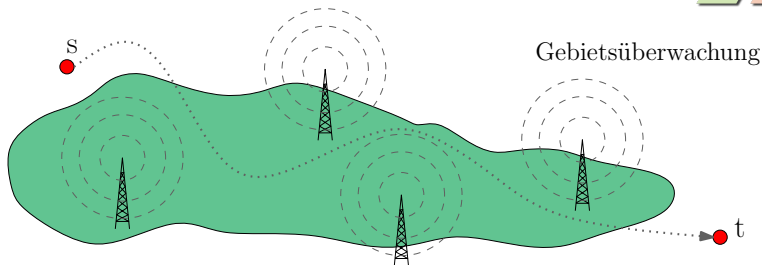


Algorithmen für Sensornetzwerke (Seminar WS09/10)

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

Institut für Theoretische Informatik - Algorithmen II



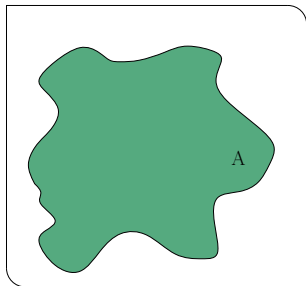
Einführung

Gebietsüberwachung

Problemstellung

- **Überwachung** eines großen Gebietes A (Grenzverlauf, Habitat, ...)
 - Registrierung von **Eindringlingen**, Tierwanderungen, ...
 - Messungen (Schadstoffe, Brände, ...)

↔ Verwendung von Sensorknoten



viele Fragestellungen

- Wieviele Knoten werden bei Durchquerung angesprochen?
- Wie müssen Sensorknoten platziert werden?
- Wie lange kann das Gebiet überwacht werden?

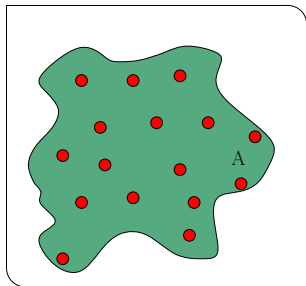
Einführung

Gebietsüberwachung

Problemstellung

- **Überwachung** eines großen Gebietes A (Grenzverlauf, Habitat, ...)
 - Registrierung von **Eindringlingen**, Tierwanderungen, ...
 - Messungen (Schadstoffe, Brände, ...)

↪ **Verwendung von Sensorknoten**



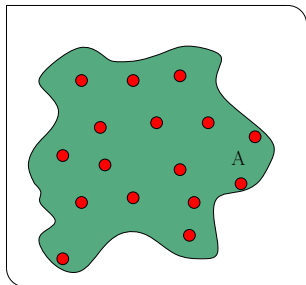
viele Fragestellungen

- Wieviele Knoten werden bei Durchquerung angesprochen?
- Wie müssen Sensorknoten platziert werden?
- Wie lange kann das Gebiet überwacht werden?

Problemstellung

- **Überwachung** eines großen Gebietes A (Grenzverlauf, Habitat, ...)
 - Registrierung von **Eindringlingen**, Tierwanderungen, ...
 - Messungen (Schadstoffe, Brände, ...)

↪ **Verwendung von Sensorknoten**



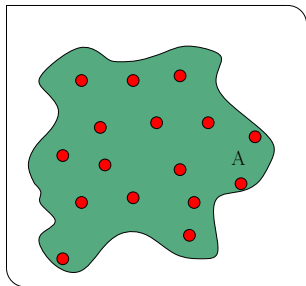
viele Fragestellungen

- Wieviele Knoten werden bei Durchquerung angesprochen?
- Wie müssen Sensorknoten platziert werden?
- Wie lange kann das Gebiet überwacht werden?

Problemstellung

- **Überwachung** eines großen Gebietes A (Grenzverlauf, Habitat, ...)
 - Registrierung von **Eindringlingen**, Tierwanderungen, ...
 - Messungen (Schadstoffe, Brände, ...)

↪ Verwendung von **Sensorknoten**



viele Fragestellungen

- **Wieviele Knoten werden bei Durchquerung angesprochen?**
- **Wie müssen Sensorknoten platziert werden?**
- **Wie lange kann das Gebiet überwacht werden?**

Barrier Coverage With Wireless Sensors

- S. Kumar, T. H. Lai, A. Arora
(MobiCom '05)
 - Analyse für dünne Grenzregionen
 - wieviele Sensoren werden bei Durchquerung angesprochen?

Approximating Barrier Resilience in Wireless Sensor Networks

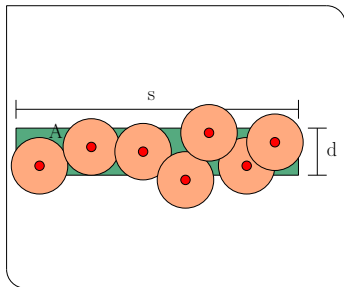
- S. Bereg, D. Kirkpatrick
(ALGOSENSORS '09)
 - beliebige Regionen
 - wieviele Sensoren können ausfallen, ohne dass sich die Qualität der Überwachung verschlechtert?

Barrier Coverage w. Wireless Sensors

Problemstellung

Aufgabe

- Überwache **dünne Grenzregion A** mit Länge $s \gg$ Dicke d ,
- verwende Sensorknoten mit **festem Sensorbereich**



Ziel

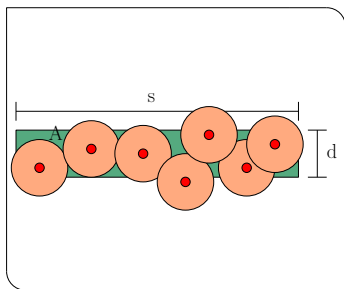
- Registrierung von Eindringlingen, die das Gebiet durchqueren
- Garantie, dass jeder Eindringling von min. k Sensoren gesehen wird (Redundanz, Ausfallsicherheit, Laufzeitverlängerung)

Barrier Coverage w. Wireless Sensors

Problemstellung

Aufgabe

- Überwache dünne Grenzregion A mit Länge $s \gg$ Dicke d ,
- verwende Sensorknoten mit festem Sensorbereich



Ziel

- Registrierung von Eindringlingen, die das Gebiet durchqueren
- Garantie, dass jeder Eindringling von min. k Sensoren gesehen wird (Redundanz, Ausfallsicherheit, Laufzeitverlängerung)

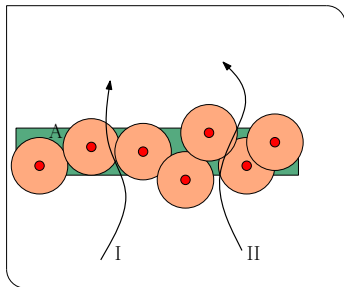
Problemstellung

Def.: k -Grenzüberdeckung (*barrier coverage*)

- Ein Gebiet ist k -grenzüberdeckt, wenn jeder Weg durch das Gebiet mindestens k Sensorbereiche schneidet

Fragestellungen

- Wie testet man, ob eine k -Grenzüberdeckung vorliegt?
- Wieviele Knoten sind für eine k -Grenzüberdeckung nötig?



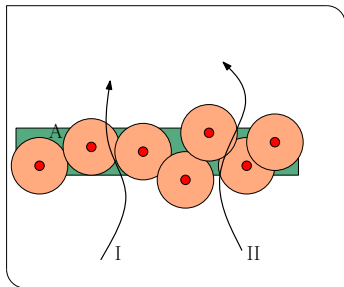
Problemstellung

Def.: k -Grenzüberdeckung (*barrier coverage*)

- Ein Gebiet ist k -grenzüberdeckt, wenn jeder Weg durch das Gebiet mindestens k Sensorbereiche schneidet

Fragestellungen

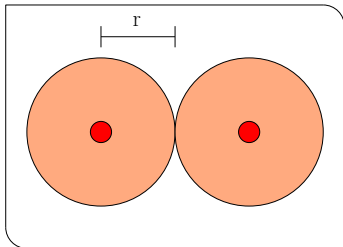
- Wie testet man, ob eine k -Grenzüberdeckung vorliegt?
- Wieviele Knoten sind für eine k -Grenzüberdeckung nötig?



Modellbeschreibung

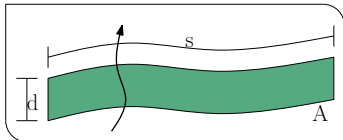
Sensorknoten

- Sensoren mit kreisförmigem Sende- und Überwachungsbereich
- Überwachungsradius r
= $1/2$ Senderadius
↪ Kommunikation möglich, wenn Überwachungsbereich überlappt



Überwachungsgebiet A

- langezogener Schlauch $s \gg d$
- Durchquerung längs kurzer Kante



Fragestellung

- Können Sensorknoten **lokal entscheiden**, ob eine k -Grenzüberdeckung besteht?

Def.: Lokaler Algorithmus

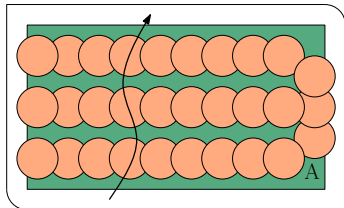
- Laufzeit von $O(1)$, gegeben dass
 - Rechenoperationen und Kommunikation zwischen benachbarten Knoten je einen Zeitschritt benötigen
- ↪ Nachrichtenversand durch gesamtes Netz braucht bis zu $O(n)$

Antwort

- k -Grenzüberdeckung ist nicht lokal entscheidbar

Beweis durch Gegenbeispiel

- Gebiet ist nicht 1-grenzüberdeckt, wenn in jeder Reihe mindestens 1 Knoten ausfällt
- nur durch Ablaufen der gesamten Kette feststellbar $\rightarrow O(n)$



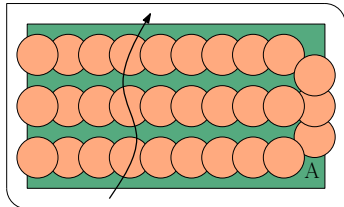
\hookrightarrow kein lokaler Sleep-Algorithmus möglich

Antwort

- k -Grenzüberdeckung ist nicht lokal entscheidbar

Beweis durch Gegenbeispiel

- Gebiet ist nicht 1-grenzüberdeckt, wenn in jeder Reihe mindestens 1 Knoten ausfällt
- nur durch Ablaufen der gesamten Kette feststellbar $\rightarrow O(n)$



\hookrightarrow kein lokaler Sleep-Algorithmus möglich

Fragestellung

- Wie entscheidet man, ob für ein Gebiet k -Grenzüberdeckung gilt bei gegebener Verteilung der Sensorknoten?

Def.: Überdeckungsgraph CG

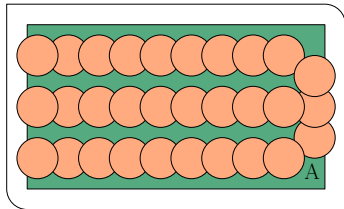
- Knotenmenge V :
 - Sensorknoten S
 \cup virtuelle Knoten $\{u, v\}$
- Kantenmenge E :
 - verbinde 2 Knoten, wenn ihr Sensorbereich überlappt
 - verbinde u (v) mit Knoten, die den linken (rechten) Rand überlappen

Fragestellung

- Wie entscheidet man, ob für ein Gebiet k -Grenzüberdeckung gilt bei gegebener Verteilung der Sensorknoten?

Def.: Überdeckungsgraph CG

- Knotenmenge V :
 - Sensorknoten S
 - \cup virtuelle Knoten $\{u, v\}$
- Kantenmenge E :
 - verbinde 2 Knoten, wenn ihr Sensorbereich überlappt
 - verbinde u (v) mit Knoten, die den linken (rechten) Rand überlappen

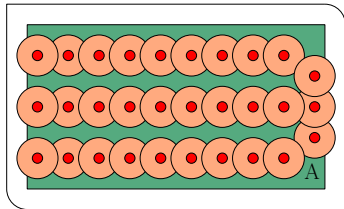


Fragestellung

- Wie entscheidet man, ob für ein Gebiet k -Grenzüberdeckung gilt bei gegebener Verteilung der Sensorknoten?

Def.: Überdeckungsgraph CG

- Knotenmenge V :
 - Sensorknoten S
 \cup virtuelle Knoten $\{u, v\}$
- Kantenmenge E :
 - verbinde 2 Knoten, wenn ihr Sensorbereich überlappt
 - verbinde u (v) mit Knoten, die den linken (rechten) Rand überlappen

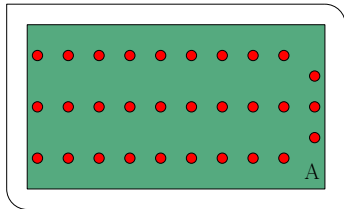


Fragestellung

- Wie entscheidet man, ob für ein Gebiet k -Grenzüberdeckung gilt bei gegebener Verteilung der Sensorknoten?

Def.: Überdeckungsgraph CG

- Knotenmenge V :
 - Sensorknoten S
 \cup virtuelle Knoten $\{u, v\}$
- Kantenmenge E :
 - verbinde 2 Knoten, wenn ihr Sensorbereich überlappt
 - verbinde u (v) mit Knoten, die den linken (rechten) Rand überlappen



Barrier Coverage w. Wireless Sensors

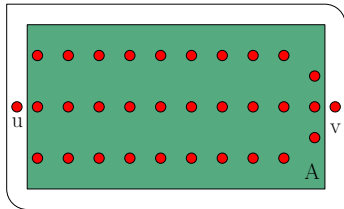
Entscheidbarkeit k -Grenzüberdeckung

Fragestellung

- Wie entscheidet man, ob für ein Gebiet k -Grenzüberdeckung gilt bei gegebener Verteilung der Sensorknoten?

Def.: Überdeckungsgraph CG

- Knotenmenge V :
 - Sensorknoten S
 - \cup virtuelle Knoten $\{u, v\}$
- Kantenmenge E :
 - verbinde 2 Knoten, wenn ihr Sensorbereich überlappt
 - verbinde u (v) mit Knoten, die den linken (rechten) Rand überlappen



Barrier Coverage w. Wireless Sensors

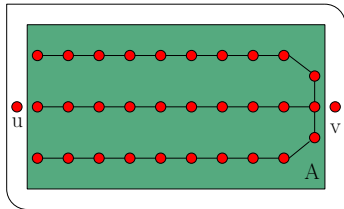
Entscheidbarkeit k -Grenzüberdeckung

Fragestellung

- Wie entscheidet man, ob für ein Gebiet k -Grenzüberdeckung gilt bei gegebener Verteilung der Sensorknoten?

Def.: Überdeckungsgraph CG

- Knotenmenge V :
 - Sensorknoten S
 - \cup virtuelle Knoten $\{u, v\}$
- Kantenmenge E :
 - verbinde 2 Knoten, wenn ihr Sensorbereich überlappt
 - verbinde u (v) mit Knoten, die den linken (rechten) Rand überlappen

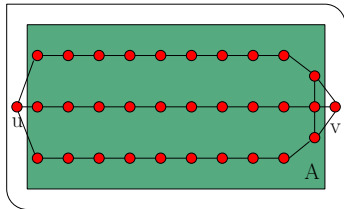


Fragestellung

- Wie entscheidet man, ob für ein Gebiet k -Grenzüberdeckung gilt bei gegebener Verteilung der Sensorknoten?

Def.: Überdeckungsgraph CG

- Knotenmenge V :
 - Sensorknoten S
 - \cup virtuelle Knoten $\{u, v\}$
- Kantenmenge E :
 - verbinde 2 Knoten, wenn ihr Sensorbereich überlappt
 - verbinde u (v) mit Knoten, die den linken (rechten) Rand überlappen

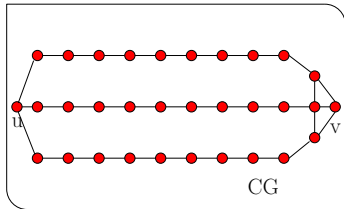


Fragestellung

- Wie entscheidet man, ob für ein Gebiet k -Grenzüberdeckung gilt bei gegebener Verteilung der Sensorknoten?

Def.: Überdeckungsgraph CG

- Knotenmenge V :
 - Sensorknoten S
 - \cup virtuelle Knoten $\{u, v\}$
- Kantenmenge E :
 - verbinde 2 Knoten, wenn ihr Sensorbereich überlappt
 - verbinde u (v) mit Knoten, die den linken (rechten) Rand überlappen

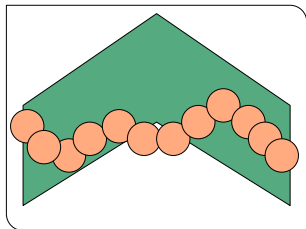


Annahme 1

- Überlappen sich Sensorbereiche D_1 und D_2 , so gilt
 - $A \cap (D_1 \cup D_2)$ zusammenhängend
- (A : zu überwachendes Gebiet)

Begründung

- nötig für Beweis von Theorem 1
- ohne Annahme 1 wären Wege von u nach v in CG möglich, die außerhalb von A liegen

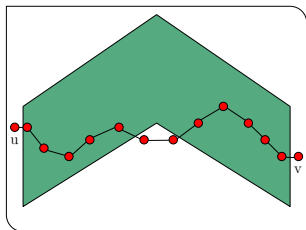


Annahme 1

- Überlappen sich Sensorbereiche D_1 und D_2 , so gilt
 - $A \cap (D_1 \cup D_2)$ zusammenhängend
- (A : zu überwachendes Gebiet)

Begründung

- nötig für Beweis von Theorem 1
- ohne Annahme 1 wären Wege von u nach v in CG möglich, die außerhalb von A liegen



Theorem 1

- Eine Gebiet ist k -grenzüberdeckt gdw.
 u, v im Überdeckungsgraph CG k -verbunden sind,
- und Annahme 1 gilt

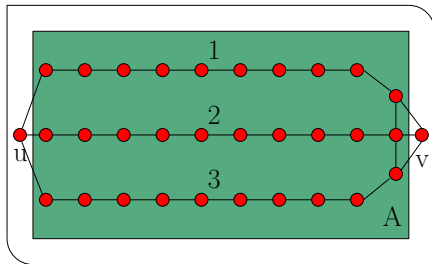
Algorithmus

- Bestimmung des Überdeckungsgraphen
(in $O(|V|)$ möglich)
 - Überprüfung, ob u, v k -verbunden sind
(in $O(k^2|V|)$ möglich)
- ⇒ liefert als Ergebnis, ob Gebiet A k -grenzüberdeckt ist

Barrier Coverage w. Wireless Sensors

Beweis-Skizze für Theorem 1

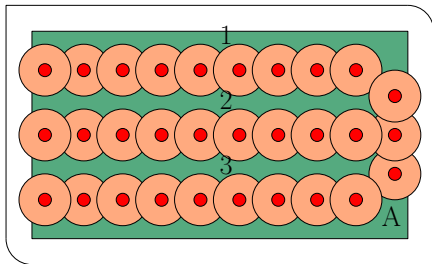
- " \Leftarrow "-Richtung $(u, v \text{ } k\text{-verbunden} \Rightarrow k\text{-Grenzüberdeckt})$
 - sei u, v k -verbunden in CG
 \Rightarrow es gibt k knotendisjunkte Pfade von u nach v
 - jeder Pfad liefert 1-Grenzüberdeckung für Gebiet A , da
Sensorbereiche benachbarter Knoten eines Pfades überlappen
 \Rightarrow lückenloses "Band" längs A , komplett in A (nach Annahme 1)
 - k knotendisjunkte Pfade liefern k -Grenzüberdeckung



Barrier Coverage w. Wireless Sensors

Beweis-Skizze für Theorem 1

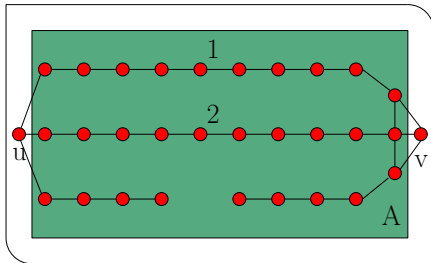
- " \leftarrow "-Richtung $(u, v \text{ } k\text{-verbunden} \Rightarrow k\text{-Grenzüberdeckt})$
 - sei u, v k -verbunden in CG
 \Rightarrow es gibt k knotendisjunkte Pfade von u nach v
 - jeder Pfad liefert 1-Grenzüberdeckung für Gebiet A , da
Sensorbereiche benachbarter Knoten eines Pfades überlappen
 \Rightarrow lückenloses "Band" längs A , komplett in A (nach Annahme 1)
 - k knotendisjunkte Pfade liefern k -Grenzüberdeckung



Barrier Coverage w. Wireless Sensors

Beweis-Skizze für Theorem 1

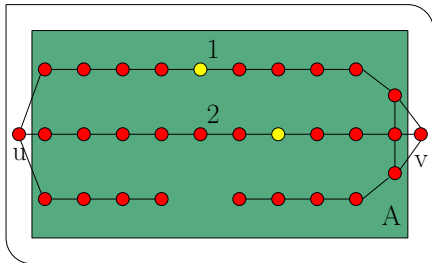
- "⇒"-Richtung (k -grenzüberdeckt $\Rightarrow u, v$ k -verbunden)
 - Annahme: sei u, v nicht k -verbunden in CG
 \Rightarrow es gibt $(k - 1)$ Knoten W in $V / \{u, v\}$, deren Entfernung u, v unverbunden in CG macht ([Mengers Theorem](#))
 - es existiert Weg P durch Gebiet A , der den Sensorbereich von keinem Knoten V / W schneidet
 - P kann (nur) durch jeden Knoten in W überdeckt werden
 - da $|W| = k - 1$, kann P (und A) max. $(k - 1)$ -grenzüberdeckt sein



Barrier Coverage w. Wireless Sensors

Beweis-Skizze für Theorem 1

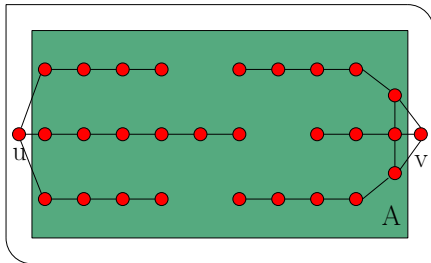
- "⇒"-Richtung (k -grenzüberdeckt $\Rightarrow u, v$ k -verbunden)
 - Annahme: sei u, v nicht k -verbunden in CG
 \Rightarrow es gibt $(k - 1)$ Knoten W in $V / \{u, v\}$, deren Entfernung u, v unverbunden in CG macht ([Mengers Theorem](#))
 - es existiert Weg P durch Gebiet A , der den Sensorbereich von keinem Knoten V / W schneidet
 - P kann (nur) durch jeden Knoten in W überdeckt werden
 - da $|W| = k - 1$, kann P (und A) max. $(k - 1)$ -grenzüberdeckt sein



Barrier Coverage w. Wireless Sensors

Beweis-Skizze für Theorem 1

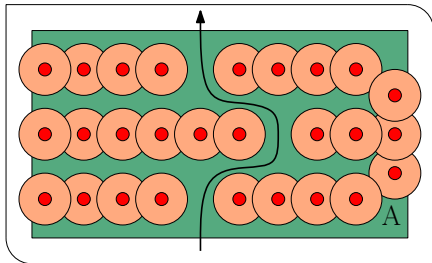
- "⇒"-Richtung (k -grenzüberdeckt $\Rightarrow u, v$ k -verbunden)
- Annahme: sei u, v nicht k -verbunden in CG
 \Rightarrow es gibt $(k - 1)$ Knoten W in $V / \{u, v\}$, deren Entfernung u, v unverbunden in CG macht ([Mengers Theorem](#))
- es existiert Weg P durch Gebiet A , der den Sensorbereich von keinem Knoten V / W schneidet
- P kann (nur) durch jeden Knoten in W überdeckt werden
- da $|W| = k - 1$, kann P (und A) max. $(k - 1)$ -grenzüberdeckt sein



Barrier Coverage w. Wireless Sensors

Beweis-Skizze für Theorem 1

- "⇒"-Richtung (k -grenzüberdeckt $\Rightarrow u, v$ k -verbunden)
 - Annahme: sei u, v nicht k -verbunden in CG
 \Rightarrow es gibt $(k - 1)$ Knoten W in $V / \{u, v\}$, deren Entfernung u, v unverbunden in CG macht ([Mengers Theorem](#))
 - es existiert Weg P durch Gebiet A , der den Sensorbereich von keinem Knoten V / W schneidet
 - P kann (nur) durch jeden Knoten in W überdeckt werden
 - da $|W| = k - 1$, kann P (und A) max. $(k - 1)$ -grenzüberdeckt sein



Fragestellung

- Wieviele Knoten muss man mindestens ausbringen, um eine k -Grenzüberdeckung zu erreichen?
- Wie müssen die Knoten verteilt sein?

Theorem 2

- sei s Länge des kürzesten Weges S längs des Gebiets, dann
- $k \cdot \lceil s/2r \rceil$ Sensorknoten nötig für k -Grenzüberdeckung

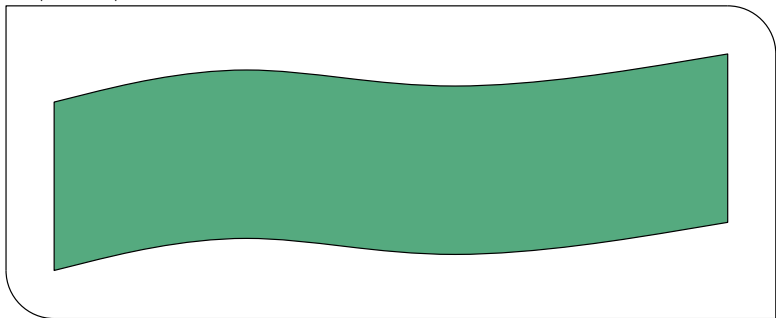
Barrier Coverage w. Wireless Sensors

Optimale Knotenplatzierung

Begründung

- benötige k knotendisjunkte Pfade
- jeder Pfad besteht aus min. $\lceil s/2r \rceil$ Knoten

↪ $k \cdot \lceil s/2r \rceil$ Sensorknoten



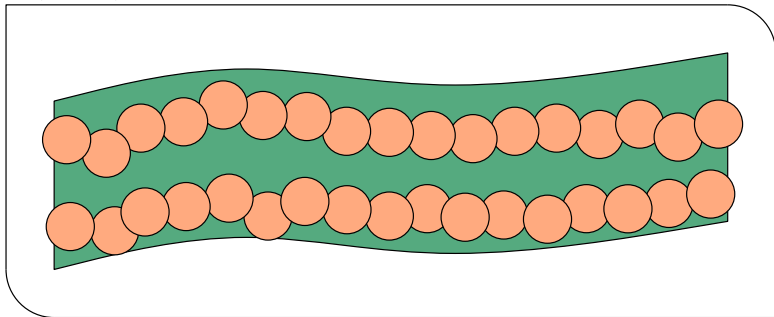
Barrier Coverage w. Wireless Sensors

Optimale Knotenplatzierung

Begründung

- benötige k knotendisjunkte Pfade
- jeder Pfad besteht aus min. $\lceil s/2r \rceil$ Knoten

↪ $k \cdot \lceil s/2r \rceil$ Sensorknoten



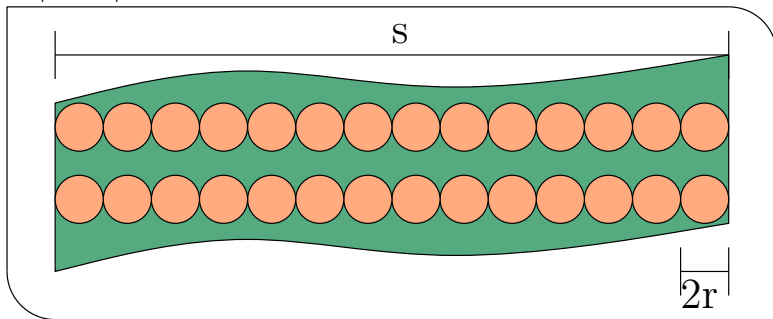
Barrier Coverage w. Wireless Sensors

Optimale Knotenplatzierung

Begründung

- benötige k knotendisjunkte Pfade
- jeder Pfad besteht aus min. $\lceil s/2r \rceil$ Knoten

↪ $k \cdot \lceil s/2r \rceil$ Sensorknoten



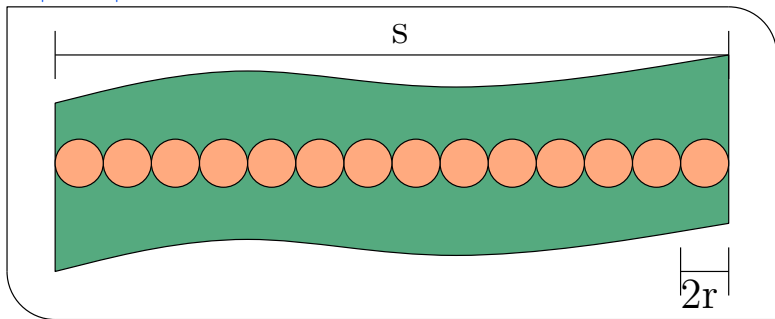
Barrier Coverage w. Wireless Sensors

Optimale Knotenplatzierung

Begründung

- benötige k knotendisjunkte Pfade
- jeder Pfad besteht aus min. $\lceil s/2r \rceil$ Knoten

↪ $k \cdot \lceil s/2r \rceil$ Sensorknoten



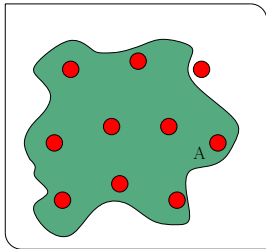
Unterschiede zu normaler Überdeckung

Def.: Überdeckung

- Menge von Sensorknoten überdeckt Gebiet A gdw. die Vereinigung ihrer Sensorbereiche A überdeckt

Eigenschaften

- Test auf 1-Überdeckung: lokal widerlegbar
- Test auf k -Überdeckung: NP-hart
- optimale 1-Überdeckung: Dreieckstruktur
- optimale k -Überdeckung: schwierig



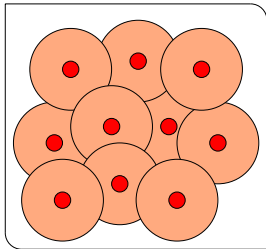
Unterschiede zu normaler Überdeckung

Def.: Überdeckung

- Menge von Sensorknoten überdeckt Gebiet A gdw. die Vereinigung ihrer Sensorbereiche A überdeckt

Eigenschaften

- Test auf 1-Überdeckung: lokal widerlegbar
- Test auf k -Überdeckung: NP-hart
- optimale 1-Überdeckung: Dreieckstruktur
- optimale k -Überdeckung: schwierig



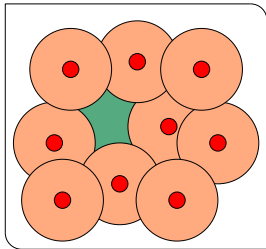
Unterschiede zu normaler Überdeckung

Def.: Überdeckung

- Menge von Sensorknoten überdeckt Gebiet A gdw. die Vereinigung ihrer Sensorbereiche A überdeckt

Eigenschaften

- Test auf 1-Überdeckung: lokal widerlegbar
- Test auf k -Überdeckung: NP-hart
- optimale 1-Überdeckung: Dreieckstruktur
- optimale k -Überdeckung: schwierig



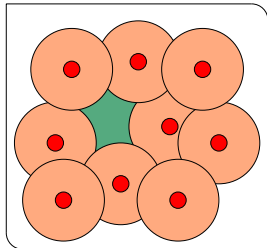
Unterschiede zu normaler Überdeckung

Def.: Überdeckung

- Menge von Sensorknoten überdeckt Gebiet A gdw. die Vereinigung ihrer Sensorbereiche A überdeckt

Eigenschaften

- Test auf 1-Überdeckung: lokal widerlegbar
- Test auf k -Überdeckung: **NP-hart**
- optimale 1-Überdeckung: Dreieckstruktur
- optimale k -Überdeckung: schwierig



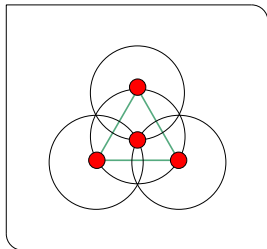
Unterschiede zu normaler Überdeckung

Def.: Überdeckung

- Menge von Sensorknoten überdeckt Gebiet A gdw. die Vereinigung ihrer Sensorbereiche A überdeckt

Eigenschaften

- Test auf 1-Überdeckung: lokal widerlegbar
- Test auf k -Überdeckung: NP-hart
- optimale 1-Überdeckung: **Dreieckstruktur**
- optimale k -Überdeckung: schwierig



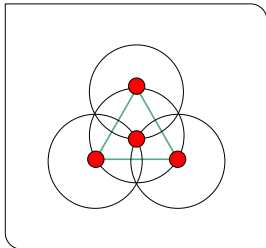
Unterschiede zu normaler Überdeckung

Def.: Überdeckung

- Menge von Sensorknoten überdeckt Gebiet A gdw. die Vereinigung ihrer Sensorbereiche A überdeckt

Eigenschaften

- Test auf 1-Überdeckung: lokal widerlegbar
- Test auf k -Überdeckung: NP-hart
- optimale 1-Überdeckung: Dreieckstruktur
- optimale k -Überdeckung: **schwierig**

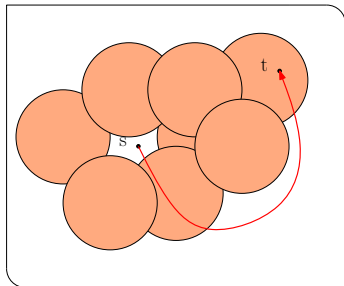


Approximating Barrier Resilience

geänderte Problemstellung

Aufgabe

- Überwache beliebiges Gebiet A
- verwende Sensorknoten mit festem, kreisförmigem Sensorbereich



Ziel

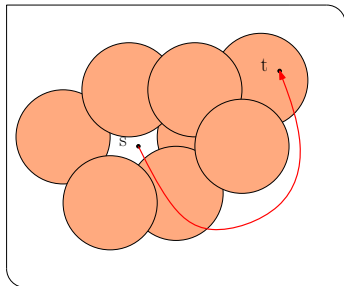
- Registrierung von Eindringlingen, die von s nach t gehen
- Garantie, dass jeder Eindringling min. k Sensorbereiche kreuzt
- Angaben über die Robustheit des Netzes

Approximating Barrier Resilience

geänderte Problemstellung

Aufgabe

- Überwache beliebiges Gebiet A
- verwende Sensorknoten mit festem, kreisförmigem Sensorbereich



Ziel

- Registrierung von Eindringlingen, die von s nach t gehen
- Garantie, dass jeder Eindringling min. k Sensorbereiche kreuzt
- Angaben über die Robustheit des Netzes

Approximating Barrier Resilience

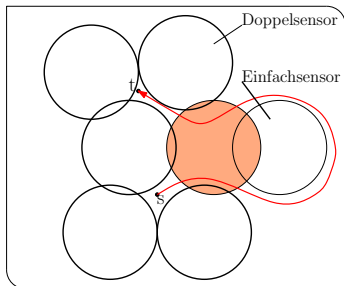
geänderte Problemstellung

Def.: Grenzdicke (*barrier thickness*)

- Anzahl Sensorbereiche, die min. betreten werden von s nach t

Def.: Robustheit (*barrier resilience*)

- Anzahl Sensoren, die entfernt werden müssen, um unbemerkt von s nach t zu kommen



Hinweis:

- für Dicke werden Sensoren mehrmals gezählt, für Robustheit einmal
- im Beispiel: Dicke 2, Robustheit 1

Approximating Barrier Resilience

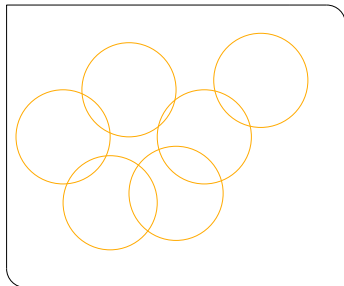
Bestimmung der Dicke eines Sensornetzes

Fragestellung

- Wie ermittelt man die Dicke eines Sensornetzes A für Weg (s, t) ?

Def.: Dualer Graph $A_D = (V, E)$

- Knoten V :
 - jede Fläche der Anordnung wird durch einen Knoten repräsentiert
- Kanten K :
 - Knoten benachbarter Flächen werden durch Kante verbunden
 - Gewichte: eingehend = 1, ausgehend = 0



Approximating Barrier Resilience

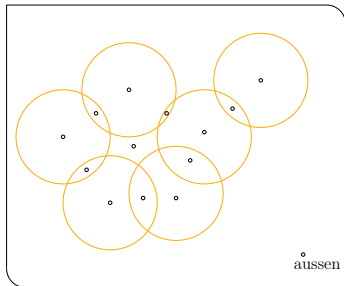
Bestimmung der Dicke eines Sensornetzes

Fragestellung

- Wie ermittelt man die Dicke eines Sensornetzes A für Weg (s, t) ?

Def.: Dualer Graph $A_D = (V, E)$

- Knoten V :
 - jede Fläche der Anordnung wird durch einen Knoten repräsentiert
- Kanten K :
 - Knoten benachbarter Flächen werden durch Kante verbunden
 - Gewichte: eingehend = 1, ausgehend = 0



Approximating Barrier Resilience

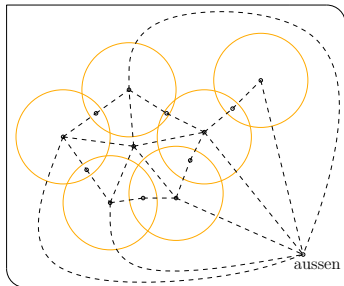
Bestimmung der Dicke eines Sensornetzes

Fragestellung

- Wie ermittelt man die Dicke eines Sensornetzes A für Weg (s, t) ?

Def.: Dualer Graph $A_D = (V, E)$

- Knoten V :
 - jede Fläche der Anordnung wird durch einen Knoten repräsentiert
- Kanten K :
 - Knoten benachbarter Flächen werden durch Kante verbunden
 - Gewichte: eingehend = 1, ausgehend = 0



Approximating Barrier Resilience

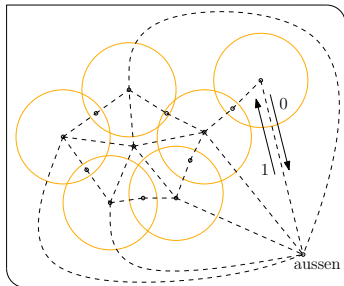
Bestimmung der Dicke eines Sensornetzes

Fragestellung

- Wie ermittelt man die Dicke eines Sensornetzes A für Weg (s, t) ?

Def.: Dualer Graph $A_D = (V, E)$

- Knoten V :
 - jede Fläche der Anordnung wird durch einen Knoten repräsentiert
- Kanten K :
 - Knoten benachbarter Flächen werden durch Kante verbunden
 - Gewichte: eingehend = 1, ausgehend = 0

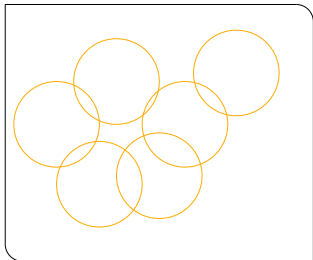


Approximating Barrier Resilience

Bestimmung der Dicke eines Sensornetzes

Algorithmus

- Bestimme dualen Graph A_D
- Bestimme Start- und Endknoten s', t'
 - sei s' (t') der Knoten, der die Fläche repräsentiert, in der s (t) liegt
- Bestimme kürzesten Weg p in A_D von s' nach t'
- Länge von p ist Dicke des Netzes



Laufzeit

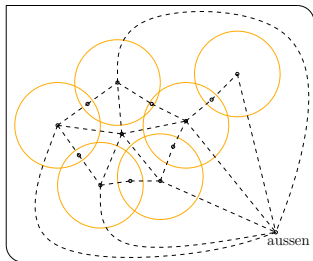
- $O(|V| \log |V| + |E|) = O(n^2 \log n^2 + n^2) = O(n^2 \log n)$
 - n Sensoren liefern $O(n^2)$ Flächen
 - planarer Graph mit k Knoten hat $O(k)$ Kanten

Approximating Barrier Resilience

Bestimmung der Dicke eines Sensornetzes

Algorithmus

- Bestimme dualen Graph A_D
- Bestimme Start- und Endknoten s', t'
 - sei s' (t') der Knoten, der die Fläche repräsentiert, in der s (t) liegt
- Bestimme kürzesten Weg p in A_D von s' nach t'
- Länge von p ist Dicke des Netzes



Laufzeit

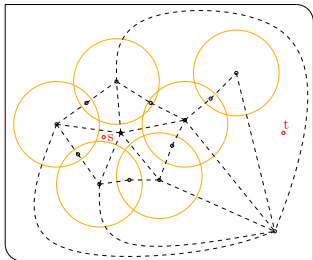
- $O(|V| \log |V| + |E|) = O(n^2 \log n^2 + n^2) = O(n^2 \log n)$
 - n Sensoren liefern $O(n^2)$ Flächen
 - planarer Graph mit k Knoten hat $O(k)$ Kanten

Approximating Barrier Resilience

Bestimmung der Dicke eines Sensornetzes

Algorithmus

- Bestimme dualen Graph A_D
- Bestimme Start- und Endknoten s', t'
 - sei s' (t') der Knoten, der die Fläche repräsentiert, in der s (t) liegt
- Bestimme kürzesten Weg p in A_D von s' nach t'
- Länge von p ist Dicke des Netzes



Laufzeit

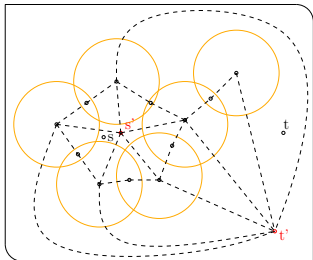
- $O(|V| \log |V| + |E|) = O(n^2 \log n^2 + n^2) = O(n^2 \log n)$
 - n Sensoren liefern $O(n^2)$ Flächen
 - planarer Graph mit k Knoten hat $O(k)$ Kanten

Approximating Barrier Resilience

Bestimmung der Dicke eines Sensornetzes

Algorithmus

- Bestimme dualen Graph A_D
- Bestimme Start- und Endknoten s' , t'
 - sei s' (t') der Knoten, der die Fläche repräsentiert, in der s (t) liegt
- Bestimme kürzesten Weg p in A_D von s' nach t'
- Länge von p ist Dicke des Netzes



Laufzeit

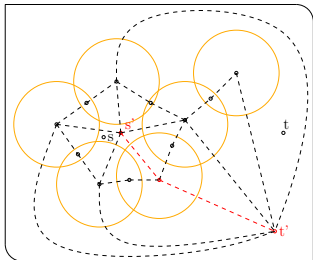
- $O(|V| \log |V| + |E|) = O(n^2 \log n^2 + n^2) = O(n^2 \log n)$
 - n Sensoren liefern $O(n^2)$ Flächen
 - planarer Graph mit k Knoten hat $O(k)$ Kanten

Approximating Barrier Resilience

Bestimmung der Dicke eines Sensornetzes

Algorithmus

- Bestimme dualen Graph A_D
- Bestimme Start- und Endknoten s' , t'
 - sei s' (t') der Knoten, der die Fläche repräsentiert, in der s (t) liegt
- Bestimme kürzesten Weg p in A_D von s' nach t'
- Länge von p ist Dicke des Netzes



Laufzeit

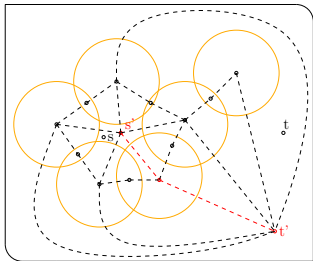
- $O(|V| \log |V| + |E|) = O(n^2 \log n^2 + n^2) = O(n^2 \log n)$
 - n Sensoren liefern $O(n^2)$ Flächen
 - planarer Graph mit k Knoten hat $O(k)$ Kanten

Approximating Barrier Resilience

Bestimmung der Dicke eines Sensornetzes

Algorithmus

- Bestimme dualen Graph A_D
- Bestimme Start- und Endknoten s' , t'
 - sei s' (t') der Knoten, der die Fläche repräsentiert, in der s (t) liegt
- Bestimme kürzesten Weg p in A_D von s' nach t'
- Länge von p ist Dicke des Netzes



Laufzeit

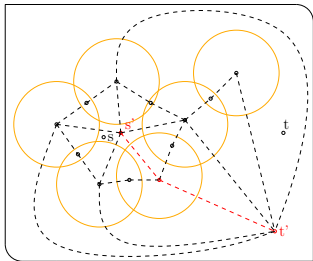
- $O(|V| \log |V| + |E|) = O(n^2 \log n^2 + n^2) = O(n^2 \log n)$
 - n Sensoren liefern $O(n^2)$ Flächen
 - planarer Graph mit k Knoten hat $O(k)$ Kanten

Approximating Barrier Resilience

Bestimmung der Dicke eines Sensornetzes

Algorithmus

- Bestimme dualen Graph A_D
- Bestimme Start- und Endknoten s' , t'
 - sei s' (t') der Knoten, der die Fläche repräsentiert, in der s (t) liegt
- Bestimme kürzesten Weg p in A_D von s' nach t'
- Länge von p ist Dicke des Netzes



Laufzeit

- $O(|V| \log |V| + |E|) = O(n^2 \log n^2 + n^2) = O(n^2 \log n)$
 - n Sensoren liefern $O(n^2)$ Flächen
 - planarer Graph mit k Knoten hat $O(k)$ Kanten

Approximating Barrier Resilience

Bestimmung der Robustheit eines Sensornetzes

Fragestellung

- Wie ermittelt man die Robustheit eines Sensornetzes für s und t ?

Theorem 3 (ohne Beweis)

- allgemeiner Fall: Robustheit $\geq 1/3$ Dicke
- $dist(s, t) > 2\sqrt{3}$: Robustheit $\geq 1/2$ Dicke

↔ 3- bzw. 2-Approximation

Hinweis

- für Anordnungen mit Dicke 1 ist auch Robustheit 1

Zusammenfassung

- es gibt **verschiedene Arten** von Überdeckungsproblemen
 - volle Überdeckung, Grenzüberdeckung
 - optimale Knotenplatzierung, Test des Überdeckungsgrad / der Robustheit des Netzes, Maximierung der Lebensdauer, ...
- Fragestellungen, die bei Grenzüberdeckung **einfach** zu beantworten sind, können bei normaler Überdeckung **schwierig** sein u.u.

ausgewählte offene Probleme

- Test auf Grenzüberdeckung bei **geschlossenen schmalen Regionen**
- Erweiterung auf **nicht Unit-Disk-Graphen**

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



Zeit für Fragen