

Künstliche Intelligenz

Sebastian Iwanowski
FH Wedel

Kap. 5:
Ameisenalgorithmen

5.3: Im Detail: Aktualisierung der Pheromone am Beispiel des
AntNet-Verfahrens

*Teile der hier vorgestellten Folien stammen aus einer studentischen
Vorlesung der Masterstudenten **Daniel Jarosch** und **Karsten Thiele**,
gehalten am 09.01.2008*

Vergleich mit Ant Based Control (ABC)

Gemeinsamkeiten

- Vorwärts- und Rückwärtsameisen
- Ziel: Pheromonbasierte Routingtabelle erstellen
- Einträge der Routingtabelle sind Wahrscheinlichkeiten (Zeilensumme ist 1)
- Sie beeinflussen die Wegwahl der Vorwärtsameisen und werden durch Rückwärtsameisen aktualisiert

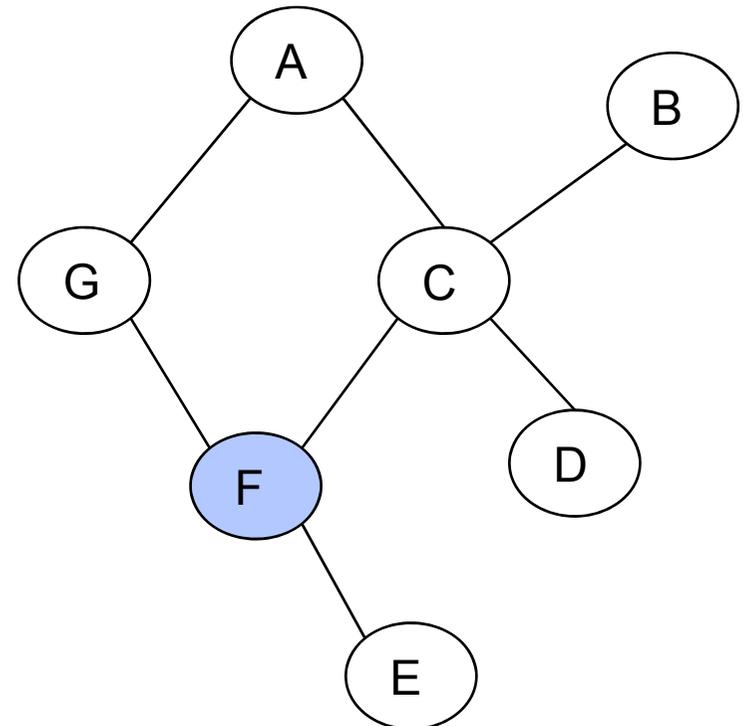


Tabelle F			
Next \ Dest	C	G	E
A	0.3	0.65	0.05
B	0.5	0.35	0.15
C	0.9	0.05	0.05
D	0.9	0.05	0.05
E	0.05	0.05	0.9
G	0.6	0.35	0.05

Vergleich mit Ant Based Control (ABC)

Unterschiede

Problematik des ABC-Algorithmus

- Pheromonkonzentration reziprok abhängig von der absoluten Fahrzeit
- Geringe Pheromonausschüttung bei langen Strecken (lange Fahrzeit)
- Nur schwache Pheromonspur auf schnellen, langen Routen
- Bei zwei langen Routen: Differenz der Pheromonkonzentration nur gering

Verbesserungsziel im AntNet-Verfahren

- Bessere Strategie zur Aktualisierung der pheromonbasierten Knoteninformationen
- Ausschüttung erfolgt nicht aufgrund der absoluten Fahrzeit
- Vergleich der Fahrzeit mit dem besten Wert innerhalb eines Zeitfensters
- Pheromonausschüttung abhängig von der besten momentanen Reisedauer

AntNet: Struktur und Aktualisierung der Infos

Überblick

Erweiterte Informationen in den Knoten:

1) Lokales statistisches Modell

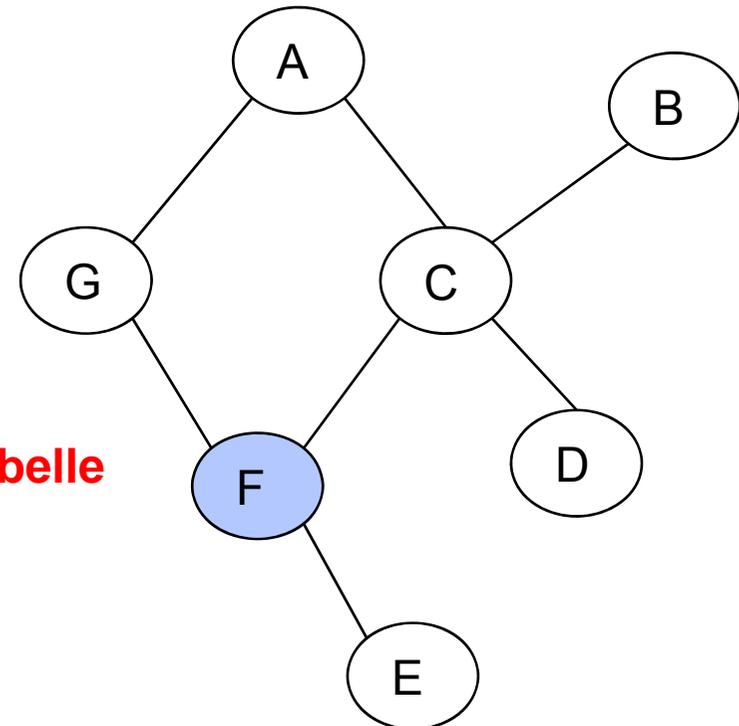
- Zum Berechnen der Pheromonmatrix

2) (Vorläufige) Pheromon**matrix**

- Zum Berechnen der eigentlichen Pheromon**tabelle**
- Pheromon**matrix** \neq Pheromon**tabelle**

3) (Endgültige) Pheromon**tabelle**

- hat gleiche Bedeutung wie bei ABC



Daraus folgend: Veränderte Aktualisierung der Knoteninformationen

AntNet: Struktur und Aktualisierung der Infos

1) Lokales statistisches Modell

M_{FA}	M_{FB}	M_{FC}	M_{FD}	M_{FE}	M_{FF}	M_{FG}
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

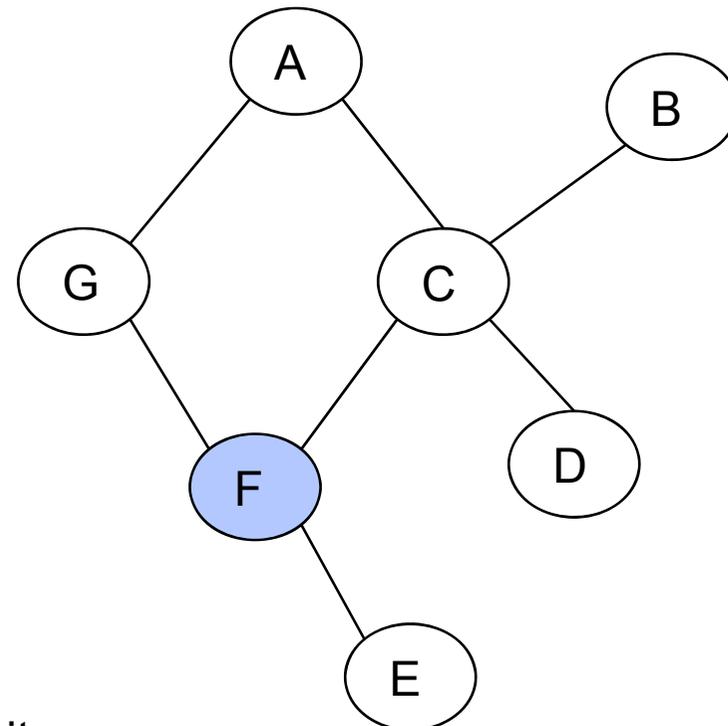
entspricht Verkehrsaufkommenstatistik

$$M_{id} = (\mu_{id}, \sigma_{id}^2, W_{id})$$

- μ_{id} Mittelwert aller Fahrzeiten
- σ_{id}^2 Varianz
- W_{id} Beobachtungsfenster
- $T_{id_{best}}$ Beste Fahrzeit im Fenster
- w_{max} Maximale Anzahl der letzten Fahrzeiten
- w_{id} Anzahl der gemessenen Fahrzeiten

i entspricht dem aktuellen Knoten

d entspricht dem Zielknoten



AntNet: Struktur und Aktualisierung der Infos

1) Lokales statistisches Modell

M_{FA}	M_{FB}	M_{FC}	M_{FD}	M_{FE}	M_{FF}	M_{FG}
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

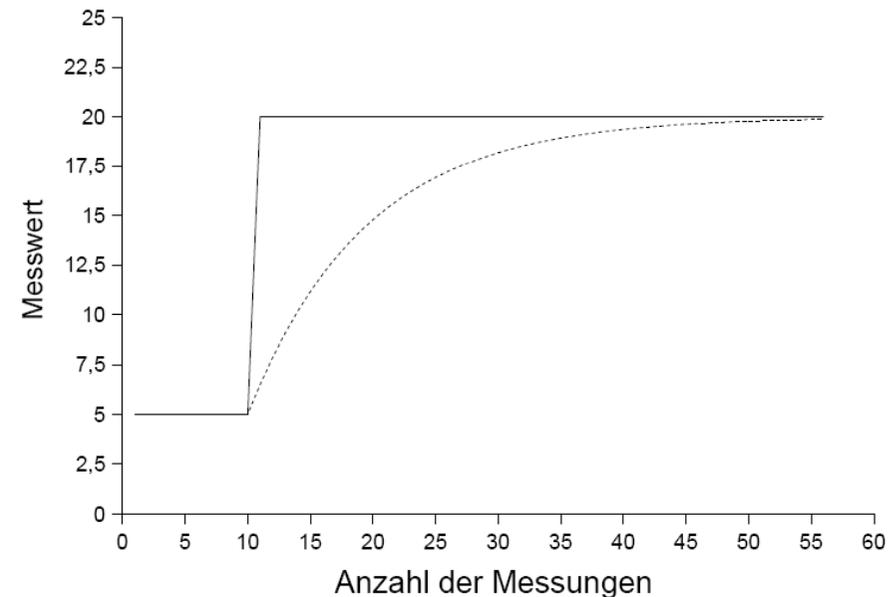
$$M_{id} = (\mu_{id}, \sigma_{id}^2, W_{id})$$

Aktualisierung der statistischen Parameter:

- $\mu_{id} \leftarrow \mu_{id} + c \cdot (t_{id} - \mu_{id})$
- $\sigma_{id}^2 \leftarrow \sigma_{id}^2 + c \cdot ((t_{id} - \mu_{id})^2 - \sigma_{id}^2)$
- $c \in [0,1]$
- Anzahl effektiver Messungen $w_{\max} = 5/c$

Adaptive Veränderung der lokalen Statistik

- Einzelner guter oder schlechter Wert soll keinen starken Einfluss auf Pheromon-ausschüttung haben



Für die Abbildung wurde ein $c = 0.1$ gewählt.

Die letzten 50 Messungen sind relevant.

$$\begin{aligned}\mu_{id} &= 5, t_{id} = 20 \\ \mu_{id} &\leftarrow 5 + 0.1 \cdot (20 - 5) = 6.5 \\ \mu_{id} &\leftarrow 6.5 + 0.1 \cdot (20 - 6.5) = 7.85 \\ \mu_{id} &\leftarrow 7.85 + 0.1 \cdot (20 - 7.85) = 9.065\end{aligned}$$

AntNet: Struktur und Aktualisierung der Infos

1) Lokales statistisches Modell

Das Beobachtungsfenster W_{id}

- Ausgangslage: R_1 ist gute Route
 R_2 ist schlechte Route
- Änderung der Verkehrslage: R_1 wird schlechter als R_2
 - Alte Pheromone von R_1 sollen schnell aus Beobachtungsfenster herausfallen ...
 - ... damit auf R_2 mehr Pheromone ausgeschüttet werden

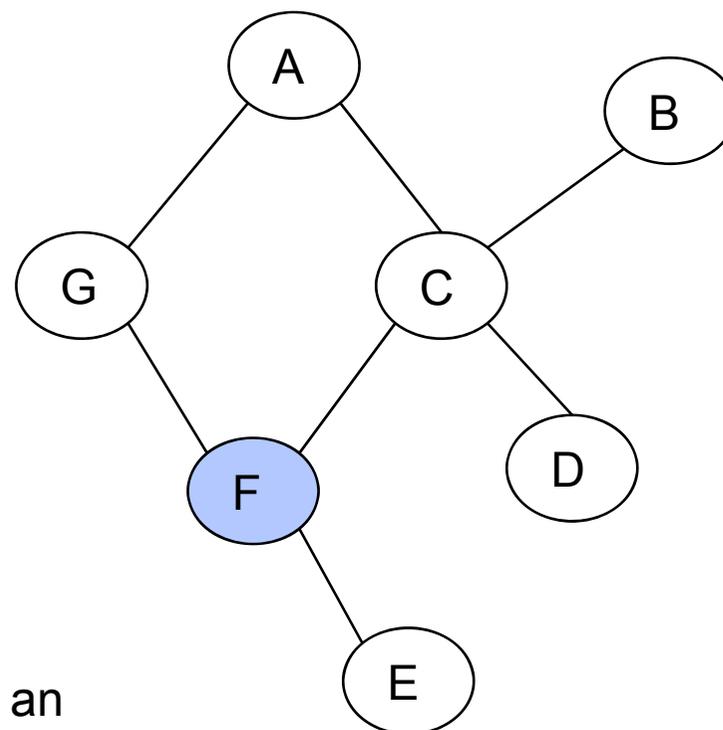
Fenstergröße beeinflusst Reaktivität des Systems:

- Große Fenstergröße: Neue Routen bilden sich nach langer Zeit
- Kleine Fenstergröße: Überreaktion und schwingendes System
- → Fenstergröße muss geeignet gewählt werden

AntNet: Struktur und Aktualisierung der Infos

2) (Vorläufige) Pheromonmatrix

Ziel \ Nachbar	C	G	E
A	0.3	0.65	0.05
B	0.5	0.35	0.15
C	0.9	0.05	0.05
D	0.9	0.05	0.05
E	0.05	0.05	0.9
G	0.6	0.35	0.05



Einträge sind Pheromonkonzentrationen τ_{ijd}

- Geben die Attraktivität der Nachbarknoten an

- Zeilenweise normalisiert $\sum_{j \in N_i} \tau_{ijd} = 1$

i entspricht dem aktuellen Knoten

j entspricht einem Nachbarknoten

d entspricht dem Zielknoten

AntNet: Struktur und Aktualisierung der Infos

2) (Vorläufige) Pheromonmatrix

- Pheromonausschüttung und –verdampfung abhängig von Weggüte
- Pheromonausschüttung
 - $\tau_{ifd} \leftarrow \tau_{ifd} + r \cdot (1 - \tau_{ifd})$ wobei $n_f \in R$
 - Faktor r gibt die Stärke der Pheromonerhöhung an
 - Wählt eine Ameise eine bestimmten Route, so steigt die Wahrscheinlichkeit, dass sich eine weitere Ameise für die Route entscheidet
- Pheromonverdampfung
 - Normalisierung der Pheromonkonzentration
 - $\tau_{ijd} \leftarrow \tau_{ijd} - r \cdot \tau_{ijd}$ mit $j \in N_i \wedge j \neq f$

Beispiel: $f = 0$

$$\tau_{i0d} = 0.6$$

$$\tau_{i1d} = 0.4$$

$$r = 0.5$$

$$\tau_{i0d} \leftarrow 0.6 + 0.5 \cdot (1 - 0.6) = 0.6 + 0.2 = 0.8$$

$$\tau_{i1d} \leftarrow 0.4 - 0.5 \cdot 0.4 = 0.4 - 0.2 = 0.2$$

AntNet: Struktur und Aktualisierung der Infos

2) (Vorläufige) Pheromonmatrix

$$r = c_1 \cdot \left(\frac{T_{id_{best}}}{t_{id}} \right) + c_2 \cdot \left(\frac{I_{trust} - T_{id_{best}}}{(I_{trust} - T_{id_{best}}) + (t_{id} - T_{id_{best}})} \right) \quad \text{mit} \quad I_{trust} = \mu_{id} + \frac{1}{\sqrt{(1-\nu)}} \cdot \left(\frac{\sigma_{id}}{\sqrt{w_{id}}} \right)$$

Zwei Terme, die über zwei Konstanten c_1 und c_2 gewichtet werden

- 1. Term: Verhältnis zwischen bester und aktueller Fahrzeit
- 2. Term: Bewertung der Vertrauenswürdigkeit der Fahrzeit
- Zu starke Abweichungen führen zur geringerer Pheromonerhöhung
- Verbesserungen oder Verschlechterungen müssen von mehreren Ameisen bestätigt werden

Weitere Möglichkeit:

$$r = \frac{s(1)}{s(r)} \quad \text{mit} \quad s(x) = 1 + e^{\frac{a}{x}} \quad \text{mit} \quad x \in (0,1] \quad \text{und} \quad a \in \mathbb{R}^+$$

- Hohe Werte werden durch die Transformation stärker gewichtet: Dadurch wird das System sensitiver für gute Werte

AntNet: Struktur und Aktualisierung der Infos

3) (Endgültige) Pheromontabelle

Ameise im Knoten n_i mit Ziel n_d bestimmt nächsten Knoten n_j mit Wahrscheinlichkeit P_{ijd}

$$P_{ijd} = \frac{\tau_{ijd} + \alpha \cdot \eta_{ij}}{1 + \alpha(|N_i| - 1)}$$

Anzahl der Nachbarn von Knoten i

- α Globaler Faktor zur Wichtung

- $\eta_{ij} \in [0,1]$

$$\eta_{ij} = 1 - \frac{q_{ij}}{\sum_{k=1}^{|N_i|} q_{ik}}$$

Berücksichtigung individueller heuristischer Werte für die Kanten

- q_{ij} Maß, welches die Verbindung der Knoten n_i und n_j beschreibt

Tabelle i			
j	j_1	j_{\dots}	J_m
d			
d_1	0.3	...	0.15
d_{\dots}
d_n	0.9	...	0.05

Unterschiedliche Bedeutung je nach Anwendungsfall:

- Fahrzeugnavigation: Fahrdauer im statistischen Fall
- Alternative Beispiele: Aktuelle Verkehrsdichte, Fahrzeit bis zum Ziel

- Es gilt aber immer: $P_{ijd} \neq 0$

AntNet: Struktur und Aktualisierung der Infos

Abhängigkeiten der zu berechnenden Parameter

Fahrdauer F→B:

$$t_{FB} = 10$$

Lokales statistisches Modell:

$$M_{FB} = (\mu_{FB}, \sigma_{FB}^2, W_{FB})$$

Stärke der Pheromonänderung:

I_{trust}

r

$T_{FB_{best}}$

Pheromonmatrix:

$$\tau_{FCB} \leftarrow \tau_{FCB} + r \cdot (1 - \tau_{FCB})$$

$$\tau_{FEB} \leftarrow \tau_{FEB} - r \cdot \tau_{FEB}$$

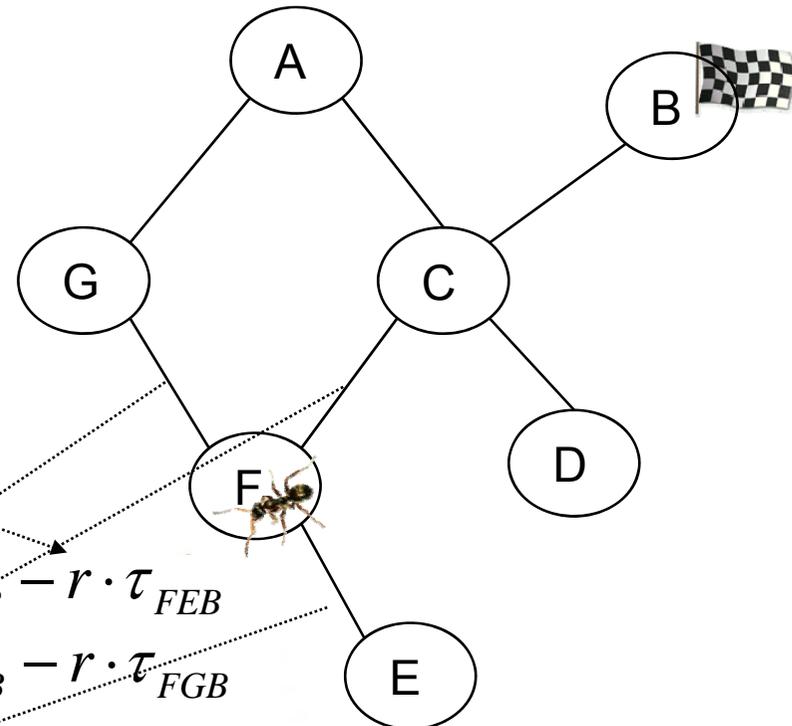
$$\tau_{FGB} \leftarrow \tau_{FGB} - r \cdot \tau_{FGB}$$

Pheromonausschüttung

Pheromonverdampfung

Pheromontabelle:

$$P_{ijd} = \frac{\tau_{ijd} + \alpha \cdot \eta_{ij}}{1 + \alpha(|N_i| - 1)}$$



Weitere Verbesserungsmöglichkeiten

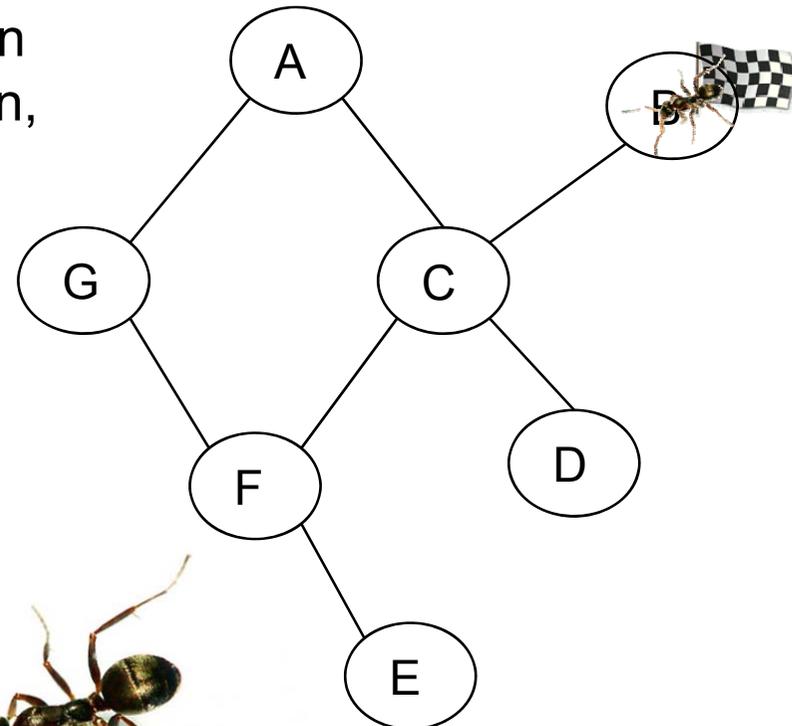
Aktualisierung von Teilpfaden (für alle ACO-Verfahren)

- Bisher wurde bei der Aktualisierung nur das Knotenpaar (n_i, n_d) betrachtet
 - Annahme: $R_{s \rightarrow d}$ ist die optimale Route von n_s nach n_d
 - n_i liegt auf der Route $R_{s \rightarrow d}$
 - Dann muss $R_{s \rightarrow i}$ die optimale Route von n_s nach n_i sein
 - Aktualisierung aller Knoten $n_i \neq n_d$
 - Neue Pheromontabelle
 - Lokales statistisches Modell
 - Pheromonmatrix
- AntNet-spezifisch**
- 

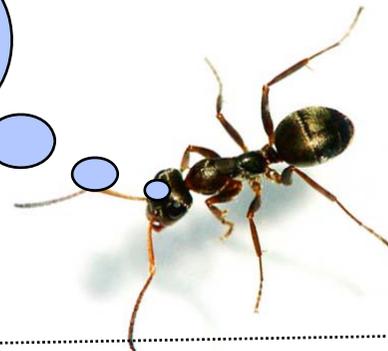
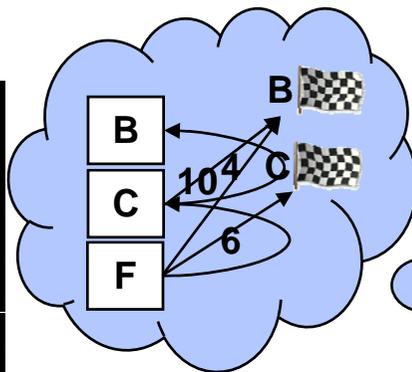
Weitere Verbesserungsmöglichkeiten

Aktualisierung von Teilpfaden (für alle ACO-Verfahren)

- Jeder Knoten zwischen dem Startknoten und Zielknoten wird zu einem Zielknoten, wenn er vom Stack entfernt wird
- Nachfolgende Knoten aktualisieren ihre Informationen zu allen (generierten) Zielknoten



Nachbar \ Ziel	C	G	E
A	0.3	0.65	0.05
B	0.5	0.35	0.15
C	0.9	0.05	0.05
D	0.9	0.05	0.05
E	0.05	0.05	0.9
G	0.6	0.35	0.05



M_{FA}	M_{FB}	M_F	M_F	M_{FE}	M_{FF}	M_F
		C	D			G

Rückwärtsameise

AntNet-spezifisch