Künstliche Intelligenz

Sebastian Iwanowski
FH Wedel

Kap. 7:
Ameisenalgorithmen

7.3: 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 Vorwärtsmeisen und werden durch Rückwärtsameisen aktualisiert

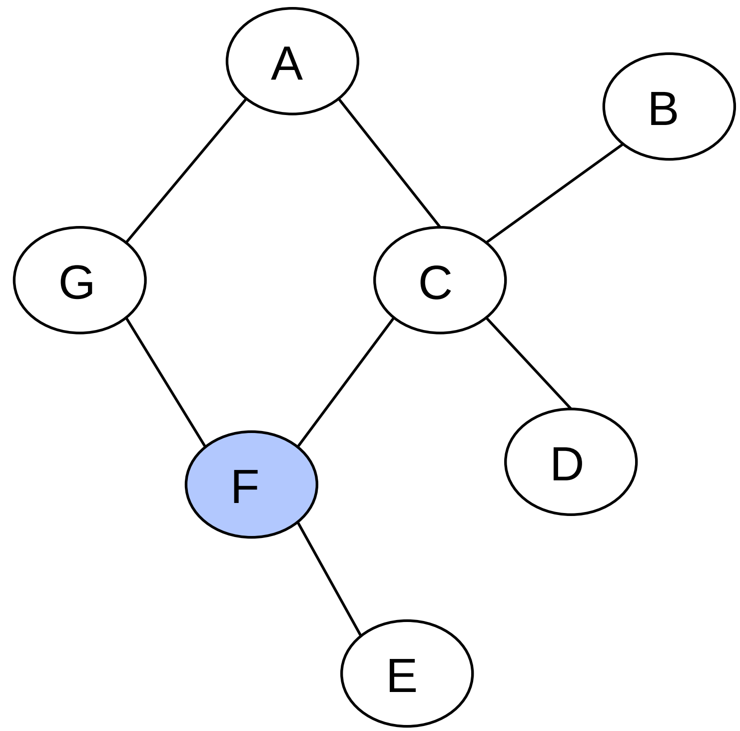


Tabelle F			
Dest \ Next	C	G	E
A	0.3	0.65	0.05
B	0.5	0.35	0.15
C	0.9	0.05	0.05
D	0.9	0.05	0.05
E	0.05	0.05	0.9
G	0.6	0.35	0.05

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

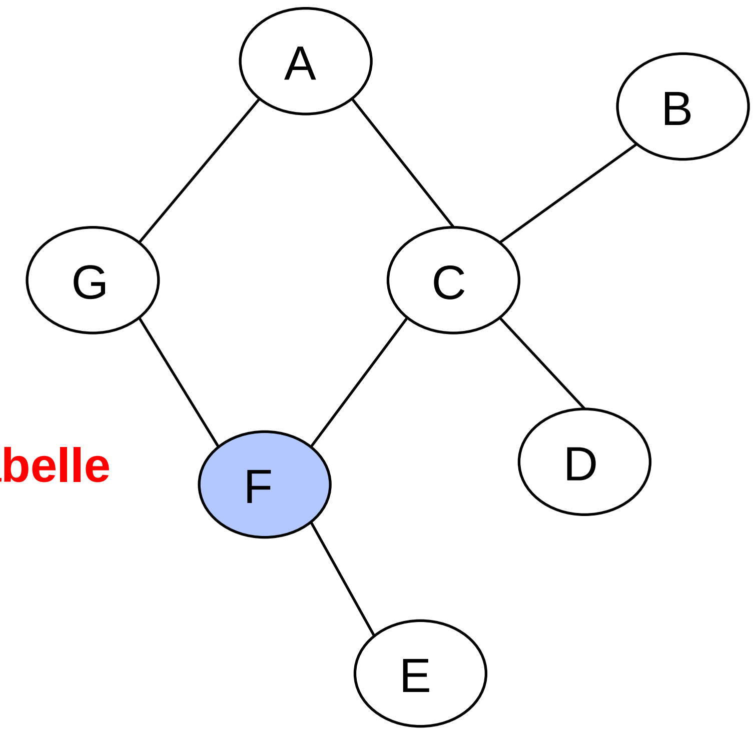
- Zum Berechnen der Pheromonmatrix

2) (Vorläufige) Pheromon**matrix**

- Zum Berechnen der eigentlichen Pheromon**tabelle**
- Pheromon**matrix** ≠ Pheromon**tabelle**

3) (Endgültige) Pheromon**tabelle**

- hat gleiche Bedeutung wie bei ABC



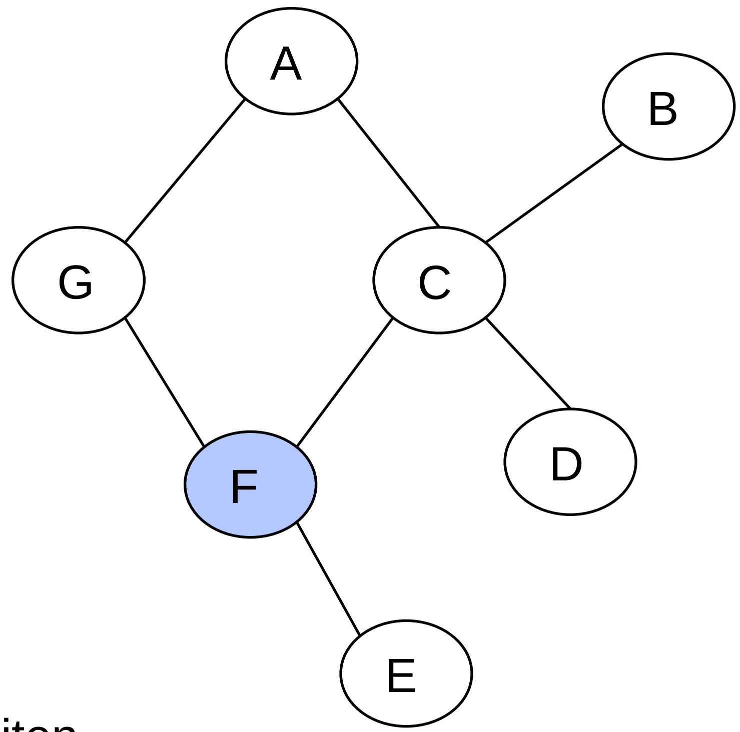
Daraus folgend: Veränderte Aktualisierung der Knoteninformationen

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

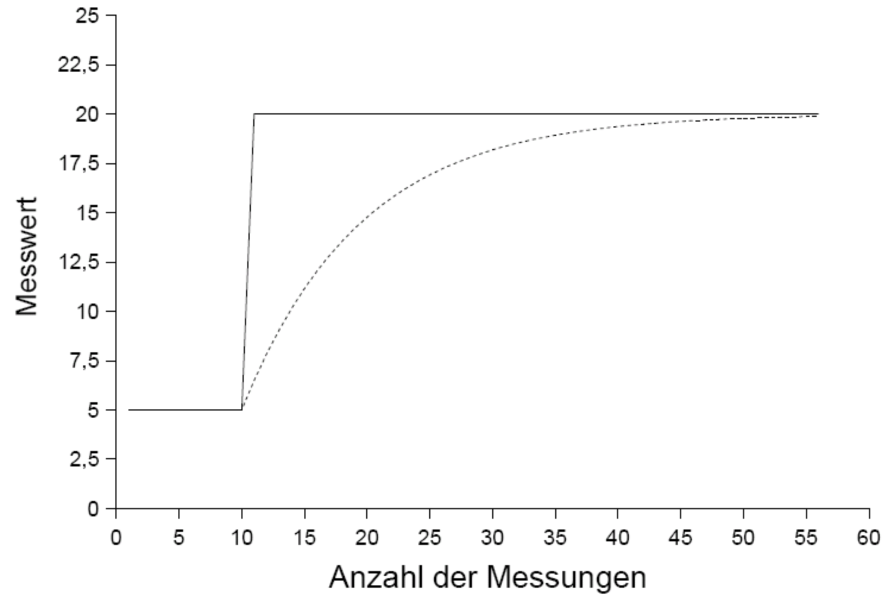
1) Lokales statistisches Modell

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

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

Aktualisierung der statistischen Parameter:

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



Für die Abbildung wurde ein c = 0.1 gewählt.

Die letzten 50 Messungen sind relevant.

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

Adaptive Veränderung der lokalen Statistik

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

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

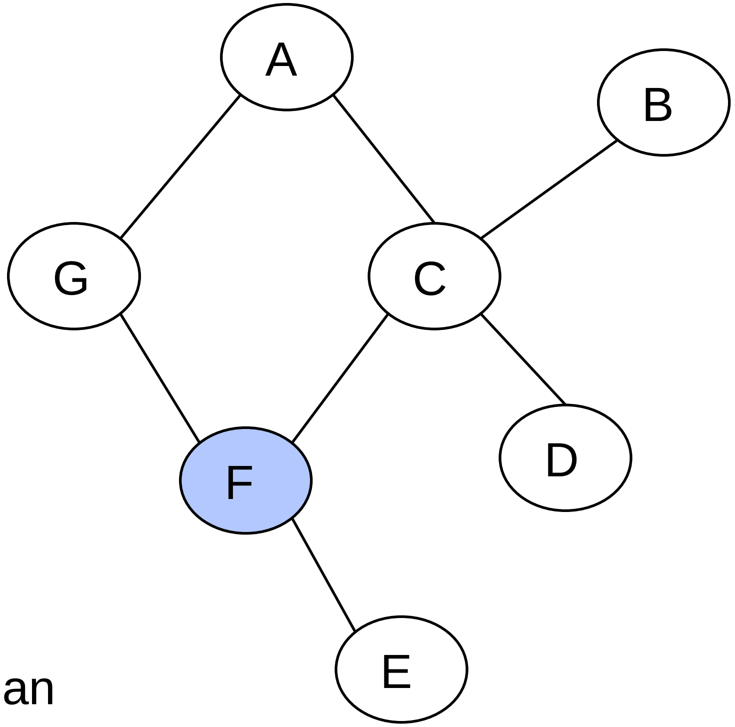
Fenstergröße beeinflusst Reaktivität des Systems:

- 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) Pheromon**matrix**

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) Pheromon**matrix**

- 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) Pheromon**matrix**

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

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:

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

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

AntNet: Struktur und Aktualisierung der Infos

3) (Endgültige) Pheromon**tabelle**

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

Tabelle *i*			
j / d	j1	j...	Jm
d1	0.3	…	0.15
d...	…	…	…
dn	0.9	…	0.05

- 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

> 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

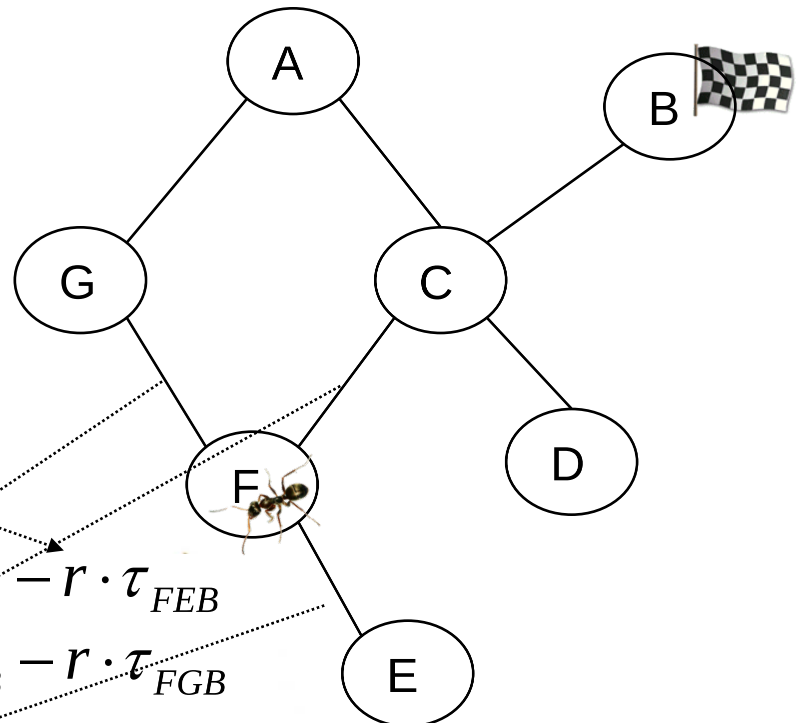
Abhängigkeiten der zu berechnenden Parameter

Fahrdauer F→B: $t_{FB} = 10$

Lokales statistisches Modell: $M_{FB} = (\mu_{FB}, \sigma^2_{FB}, W_{FB})$

$T_{FB_{best}}$

Stärke der Pheromonänderung: $I_{trust} \rightarrow r$



Pheromon**matrix**:

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

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

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

Pheromonausschüttung

Pheromonverdampfung

Pheromon**tabelle**:

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

Weitere Verbesserungsmöglichkeiten

Aktualisierung von Teilpfaden (für alle ACO-Verfahren)

- Bisher wurde bei der Aktualisierung nur das Knotenpaar (n_i, n_d) betrachtet

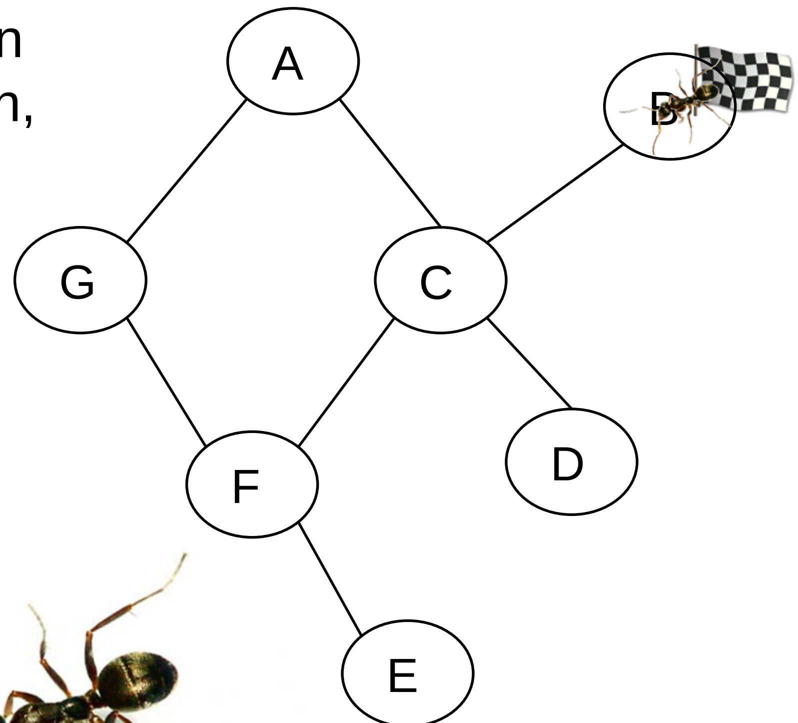
- Annahme: $R_{s \to d}$ ist die optimale Route von n_s nach n_d
  - n_i liegt auf der Route $R_{s \to d}$
  - Dann muss $R_{s \to i}$ die optimale Route von n_s nach n_i sein
  - Aktualisierung aller Knoten $n_i \neq n_d$
    - Neue Pheromontabelle
    - Lokales statistisches Modell
    - Pheromonmatrix

AntNet-spezifisch

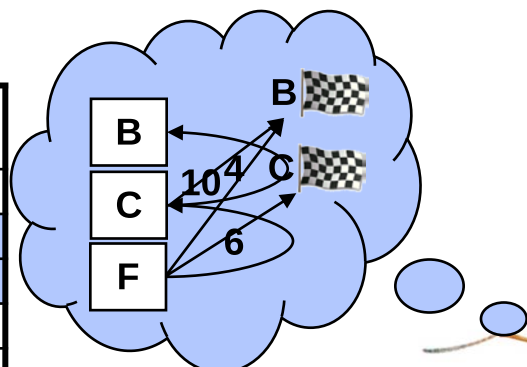
Weitere Verbesserungsmöglichkeiten

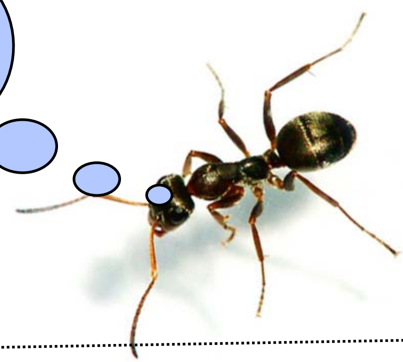
Aktualisierung von Teilpfaden (für alle ACO-Verfahren)

- 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



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





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

Rückwärtsameise

AntNet-spezifisch