



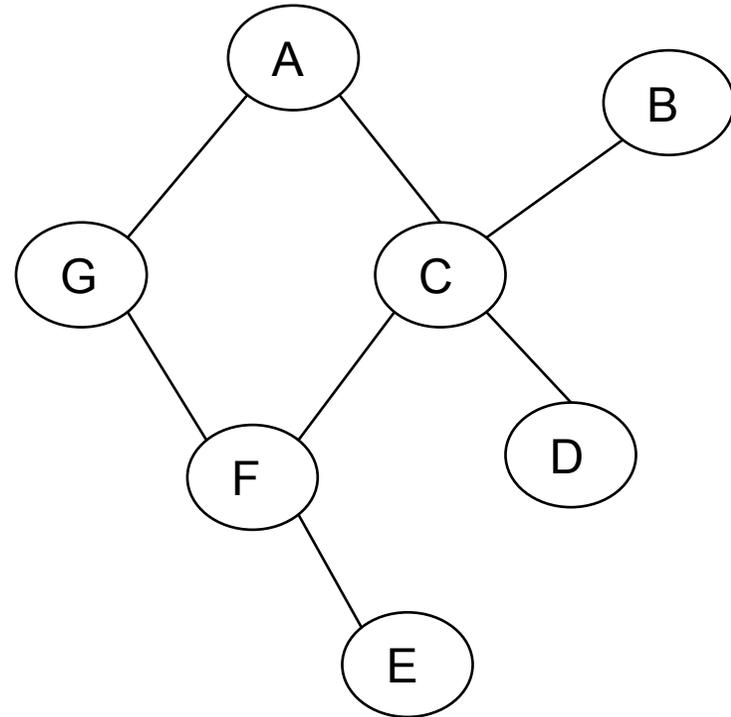
AntNet

Daniel Jarosch & Karsten Thiele
FH Wedel

**Mastervorlesung Künstliche Intelligenz:
Ameisenalgorithmen**

Ziele des AntNet - Algorithmus

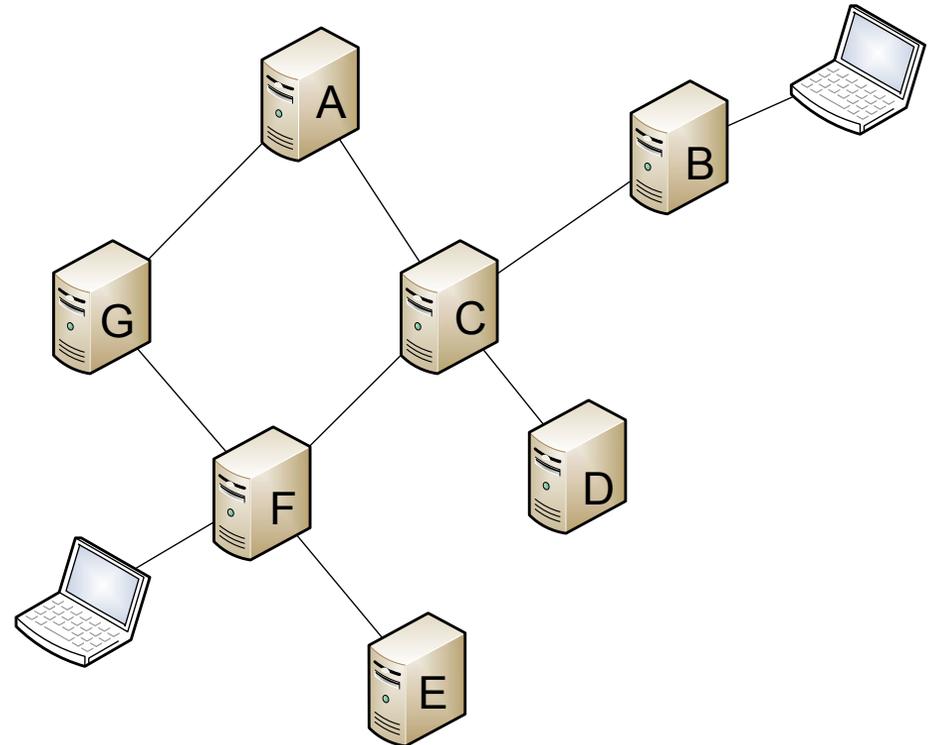
- Optimale Route von Aufenthaltsort zum Ziel
- Berücksichtigung der gegenwärtigen Verkehrssituation
- Adaptive Anpassung an dynamische Informationen



Analogie zu Kommunikationsnetzwerken

Gegeben

- Informationen und Berechnungseinheiten auf Knoten verteilt
- Verbindung über Kommunikationskanäle unterschiedlicher Geschwindigkeit und Kapazität
- Netz unterliegt dynamischen Änderungen
- Unerwünschte Verzögerung beim Datenverkehr



Gesucht

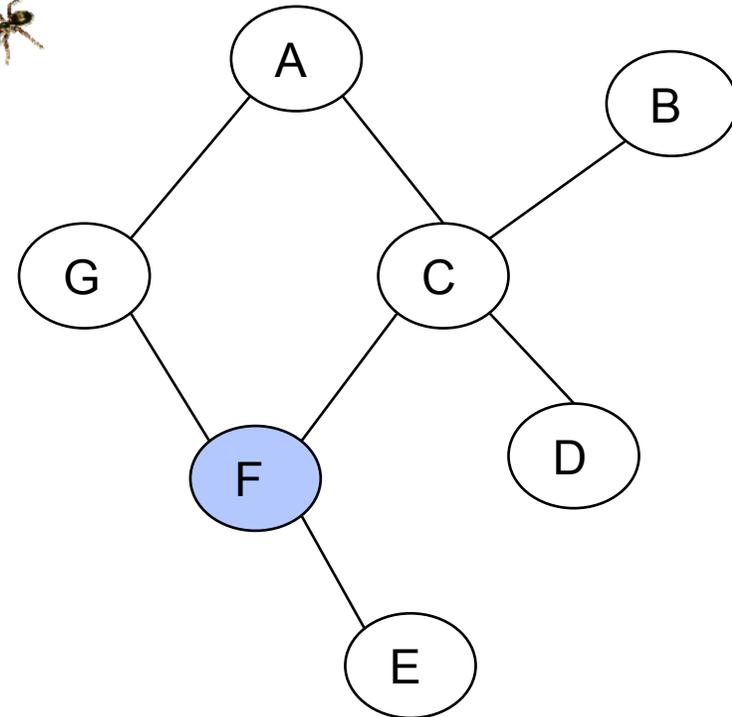
- Schnellste Weg durch das Netz

Vergleich mit Ant Based Control (ABC)

Gemeinsamkeiten

- Vorwärts- und Rückwärtsameisen 
- Ziel eine pheromonbasierte Wahrscheinlichkeitstabelle zu erstellen
 - Einträge sind Wahrscheinlichkeiten
 - Beeinflussen Wegwahl der Ameisen

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)

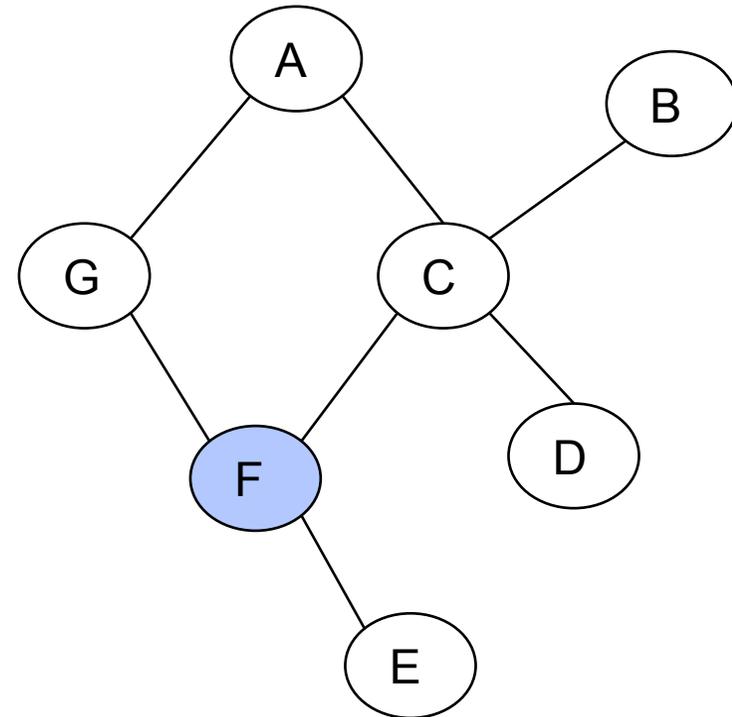
Unterschiede

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

Vergleich mit Ant Based Control (ABC)

Unterschiede

- Struktur der Knoteninformationen
 - 1.) Lokales statistisches Modell
 - Zum Berechnen der Pheromonmatrix
 - 2.) Pheromonmatrix
 - Zum Berechnen der Pheromontabelle
 - Pheromonmatrix \neq Pheromontabelle
- Aktualisierung der Knoteninformationen

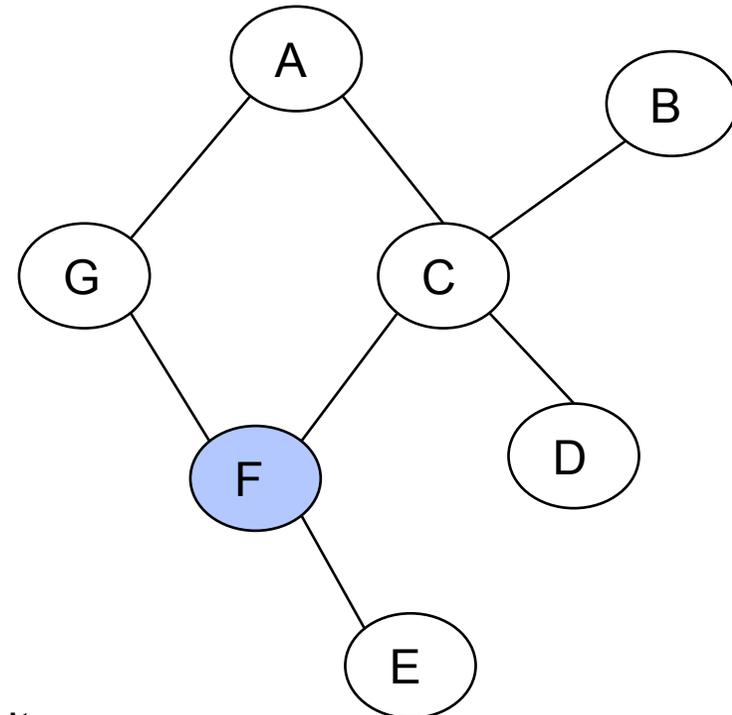


Struktur der Knoteninformationen

Lokales statistisches Modell

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

- 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

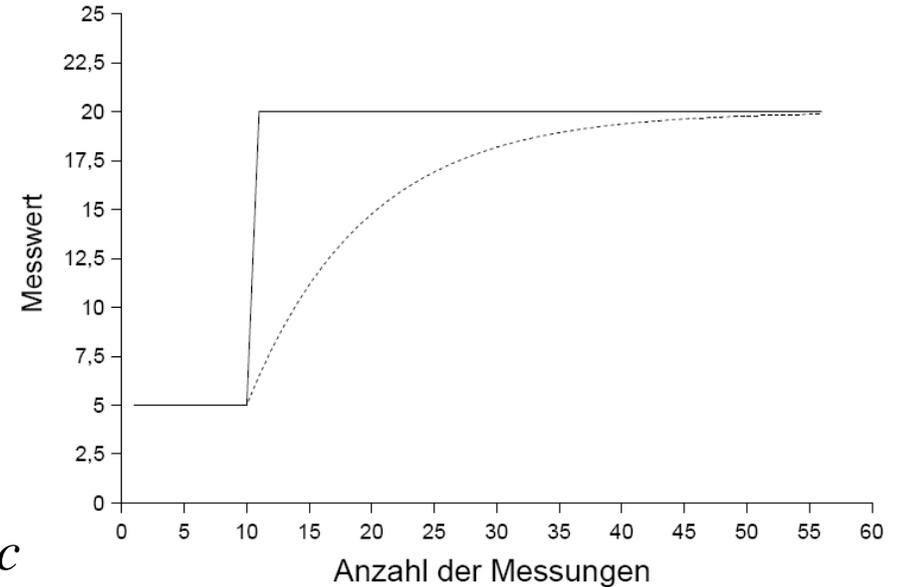
d entspricht dem Zielknoten

Struktur der Knoteninformationen

Lokales statistisches Modell

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

- $M_{id} = (\mu_{id}, \sigma_{id}^2, W_{id})$
- Berechnung 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 hat keinen starken Einfluss auf Pheromon-ausschüttung



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

Die letzten 50 Messungen sind relevant.

$$\mu_{id} = 5, t_{id} = 20$$

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

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

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

Struktur der Knoteninformationen

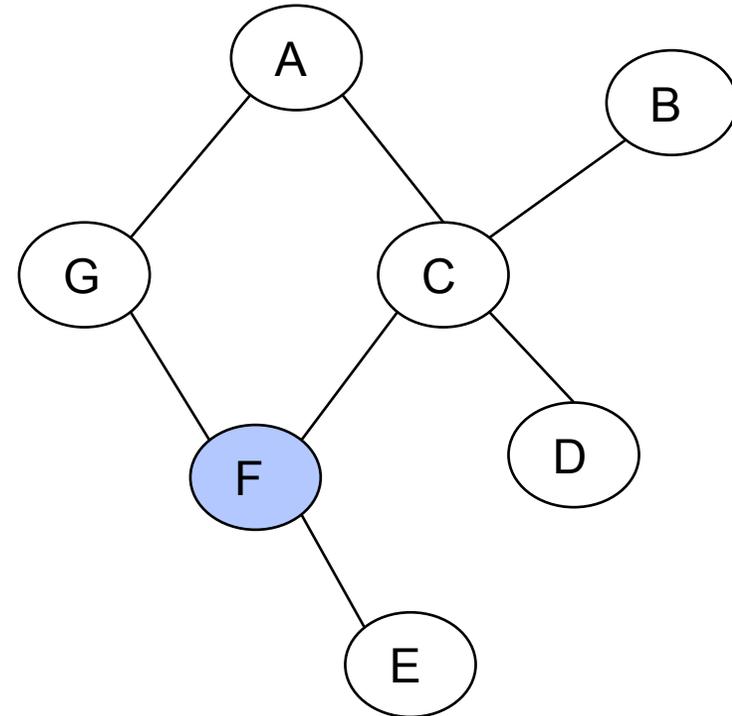
Lokales statistisches Modell

- Beobachtungsfenster W_{id}
 - Gegeben Verkehrslage: gute Route R_1
schlechte Route R_2
 - Änderung der Verkehrslage tritt ein: R_1 schlechter als R_2
 - R_1 muss aus Beobachtungsfenster herausfallen ...
 - ... damit auf R_2 mehr Pheromon 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

Struktur der Knoteninformationen

Pheromonmatrix

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



- Einträge sind Pheromonkonzentration τ_{ijd}
 - Gibt die Anziehung 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

Struktur der Knoteninformationen

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: $f = 0$

$$\tau_{i0d} = 0.6$$

$$\tau_{i1d} = 0.4$$

$$r = 0.5$$

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

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

Struktur der Knoteninformationen

Pheromonmatrix

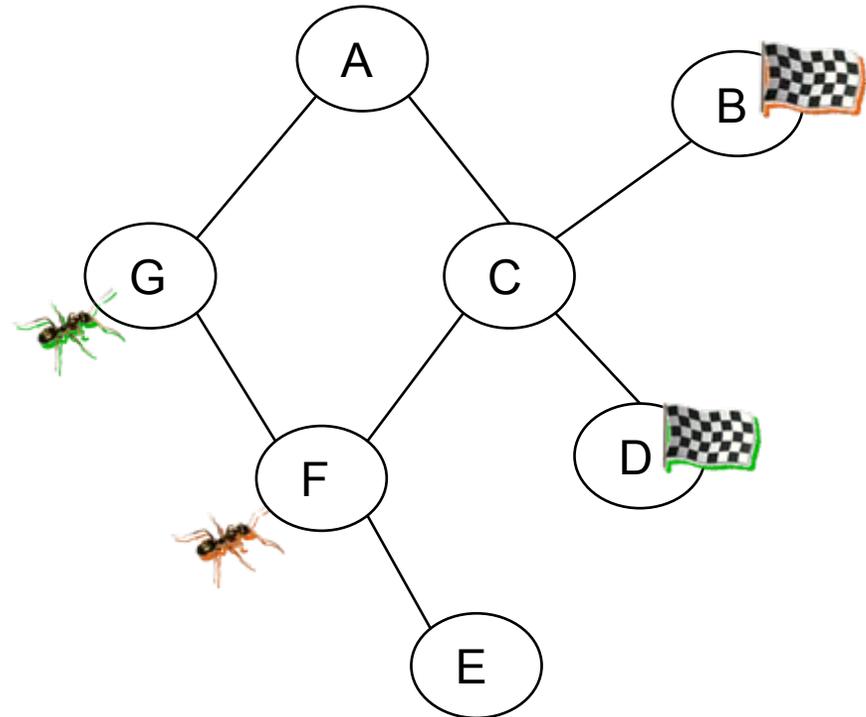
- $r = c_1 \cdot \left(\frac{T_{id_{best}}}{t_{id}} \right) + c_2 \cdot \left(\frac{I_{trust} - T_{id_{best}}}{(I_{trust} - T_{id_{best}}) + (t_{id} - T_{id_{best}})} \right)$ mit $I_{trust} = \mu_{id} + \frac{1}{\sqrt{(1-\nu)}} \cdot \left(\frac{\sigma_{id}}{\sqrt{w_{id}}} \right)$
- Zwei Terme, die 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
- $r = \frac{s(1)}{s(r)}$ mit $s(x) = 1 + e^{\frac{a}{x}}$ mit $x \in (0,1]$ und $a \in R^+$
 - Hohe Werte werden durch die Transformation stärker gewichtet: Dadurch wird das System sensitiver für gute Werte

Algorithmischer Ablauf (Wiederholung)

- Kontinuierliche Generation von Vorwärtsameisen
- Vorwärtsameisen bewegen sich zu einem Zielknoten
 - Sammeln von Weginformationen
 - Wahrscheinlichkeitsgesteuerte Wegwahl
 - Starten einer Rückwärtsameise am Ziel
- Rückwärtsameisen
 - Rückverfolgung des Wegs der Vorwärtsameise
 - Aktualisieren der Knoteninformation

Generieren und Starten der Vorwärtsameise

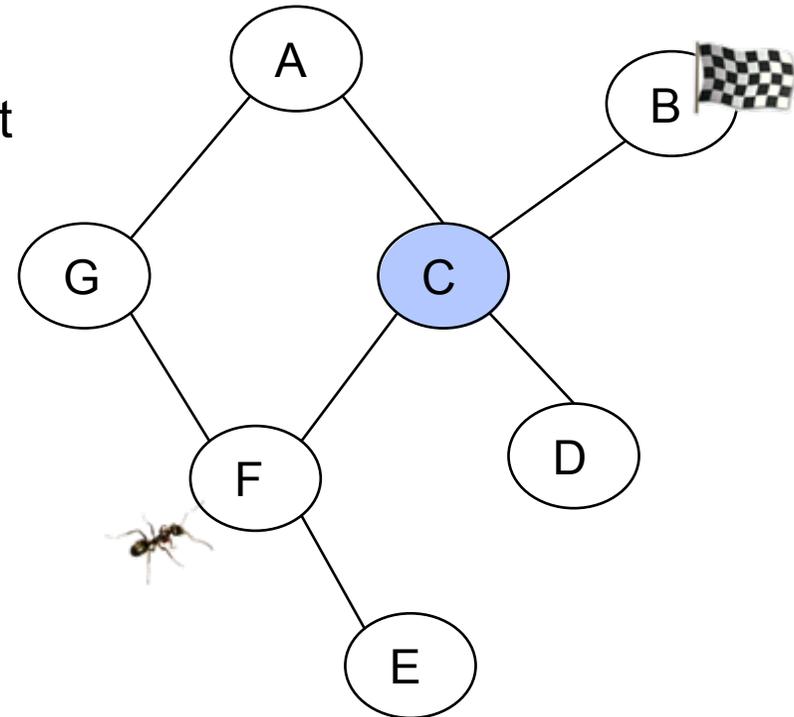
- Kontinuierliche Generation an jedem Knoten
- Zufälliges Auswählen eines Zielknotens
- Asynchrones Starten aller Ameisen



Wegwahl der Vorwärtsameise

- Entscheidung anhand der Wahrscheinlichkeitswerte der Pheromontabelle
- Besuchte Knoten werden nicht beachtet
- Ausnahme: Alle Nachbarknoten wurden bereits besucht

Next \ Dest	A	B	D	F
A	0.7	0.05	0.05	0.2
B	0.1	0.8	0.05	0.05
D	0.1	0.05	0.7	0.15
E	0.3	0.05	0.05	0.6
F	0.2	0.05	0.05	0.7
G	0.5	0.05	0.05	0.4



Wegwahl der Vorwärtsameise

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

- Wahrscheinlichkeit P_{ijd}

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

- α Faktor zur Gewichtung der Wichtigkeit

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

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

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

- Unterschiedliche Bedeutung je nach Anwendungsfall

- Fahrzeugnavigation: Fahrdauer im statistischen Fall

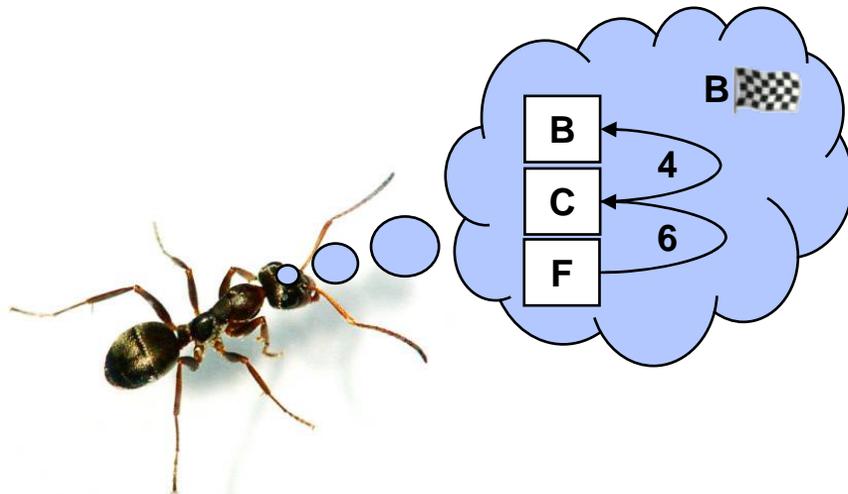
- Alternative Beispiele: Aktuelle Verkehrsdichte, Fahrzeit bis zum Ziel

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

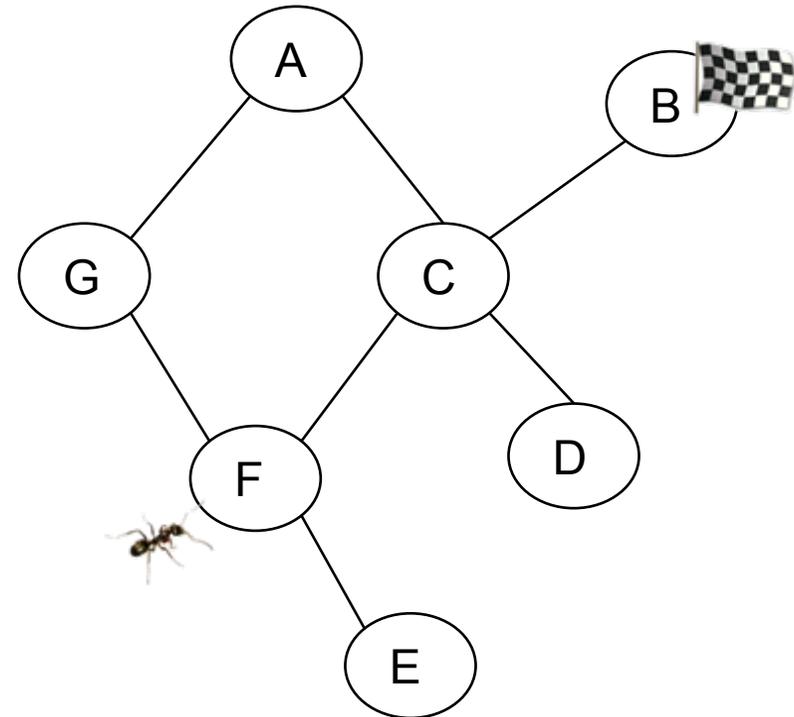
j	j^1	j^{\dots}	J^m
d			
d^1	0.3	...	0.15
d^{\dots}
d^n	0.9	...	0.05

Sammeln von Informationen

- Jeden besuchten Knoten in Stack merken
- Zyklen werden wieder gelöscht
 - Zu alte Vorwärtsameise wird gelöscht
- Benötigte Zeit zwischen zwei Knoten messen

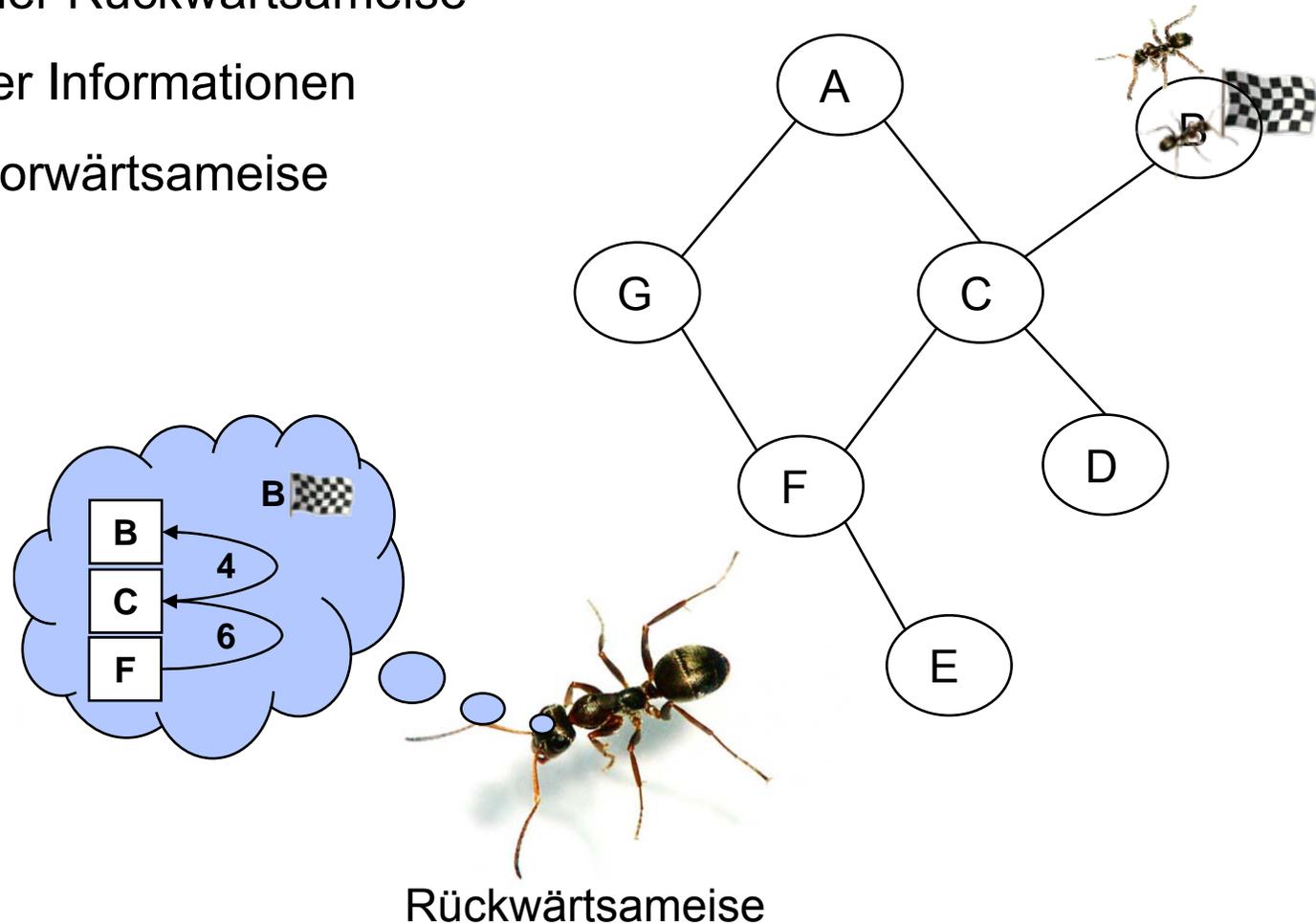


Vorwärtsameise



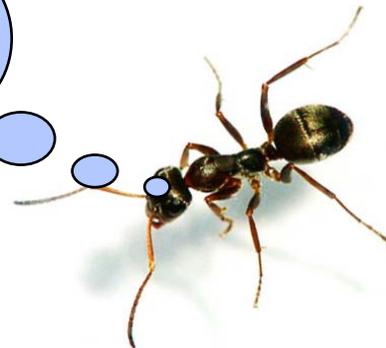
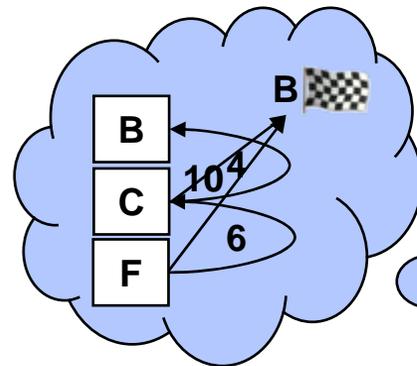
Starten der Rückwärtsameise

- Generieren einer Rückwärtsameise
- Übergeben aller Informationen
- Löschen der Vorwärtsameise

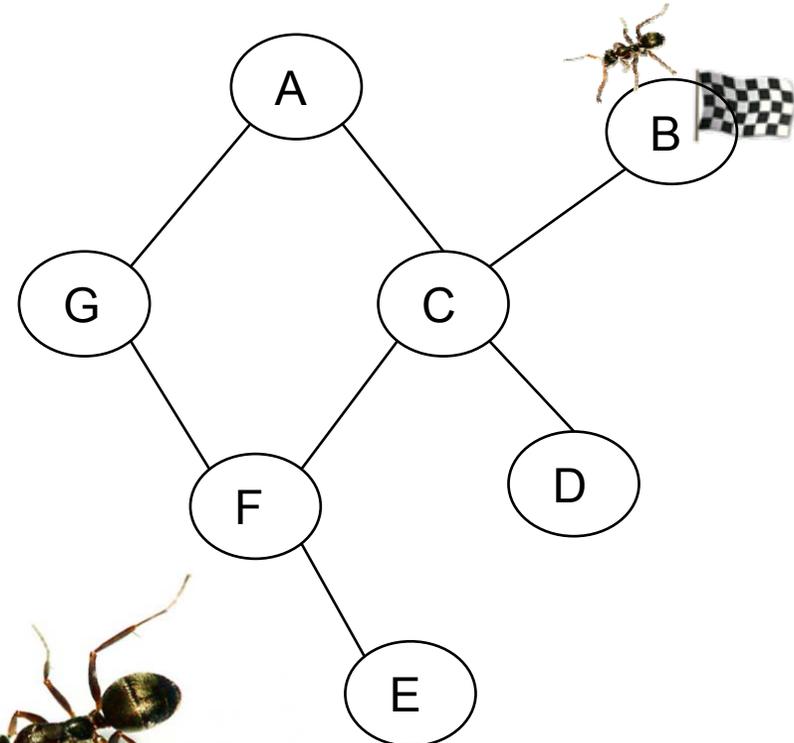


Rückverfolgung des Weges

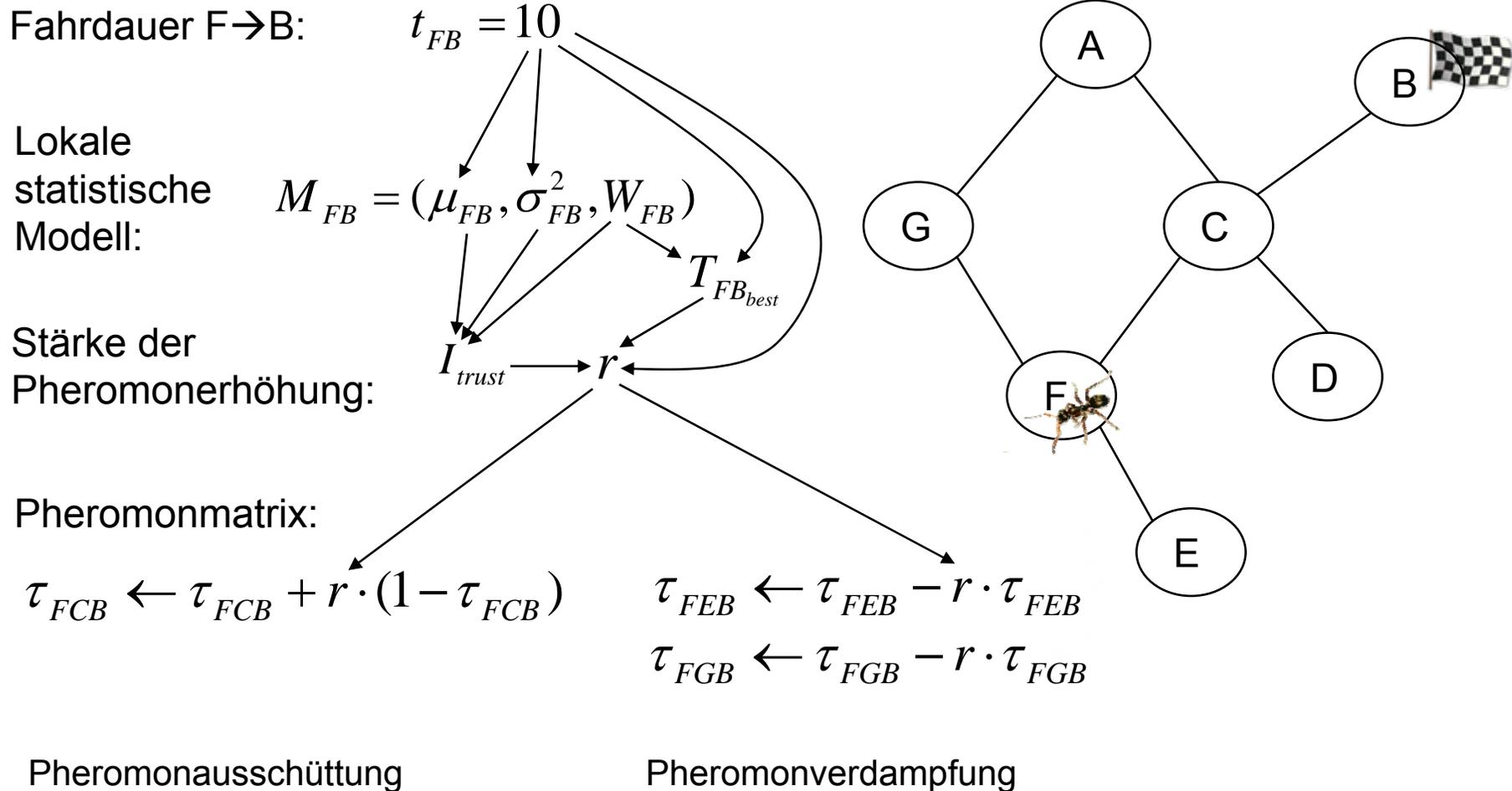
- Rückwärtsameise besucht jeden Knoten des gespeicherten Weg in umgekehrter Reihenfolge
- Besuchter Knoten vom Stack entfernt
- Gesamtzeit t_{id} wird berechnet und Knoten n_i aktualisiert



Rückwärtsameise



Aktualisieren der Knoteninformationen

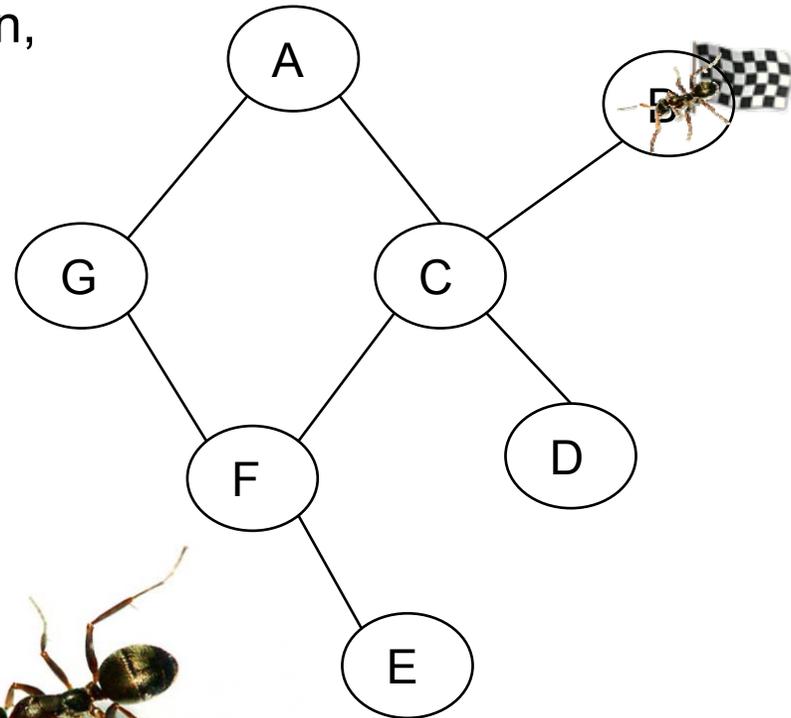


Aktualisieren von Teilpfaden

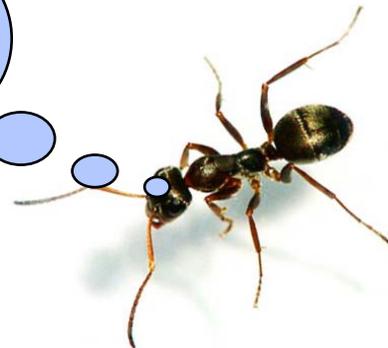
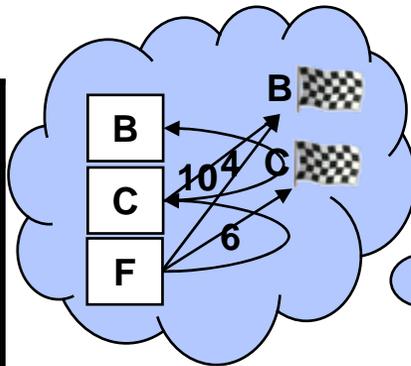
- Bisher wurde bei der Aktualisierung nur das Knotenpaar (n_i, n_d) betrachtet
- Annahme: $R_{s \rightarrow d}$ ist die optimale Route von n_s nach n_d
 - n_i liegt auf der Route $R_{s \rightarrow d}$
 - Dann muss $R_{s \rightarrow i}$ die optimale Route von n_s nach n_i sein
 - Aktualisierung aller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

Rückverfolgung des Weges (Teilpfade)

- 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



Rückwärtsameise

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

Ende

Danke für eure Aufmerksamkeit!

Fragen?