



# Datenverbreitung und Aggregation, Routing

---

Pascal von Rickenbach

Assistent: Thomas Schoch



# Übersicht

---

- Motivation & Ziele
- Protokolle
  - SPIN
  - Directed Diffusion
  - LEACH
  - TTDD
- Zusammenfassung & Fazit





# Eigenschaften Sensornetze

---

- Sensornetze
  - Grosse Anzahl Knoten
  - Hohe Knotendichte
  - Selbst-Organisation
- Knoten
  - Energieressourcen stark limitiert
  - Eingeschränkte Hardware



# Datenverbreitung

---

- Datenverbreitung in Sensornetzen
  - Sensorknoten untereinander koordinieren
  - Resultate extrahieren
  - Aufgaben verteilen



# Aggregation

---

- In-Network Verarbeitung
  - Vorverarbeitung von Daten, um Ressourcen zu sparen
  - Korrelation von Daten nützen
- Anwendung bestimmt Aggregationsmöglichkeiten
  - Knoten müssen application-aware sein
- Beispiel
  - Meteorologische Messungen



# Routing

---

- Ermöglicht Kommunikation zwischen nicht benachbarten Knoten
- Sensornetze sind drahtlose Ad-hoc-Netze
  - Viele existierende Routing-Protokolle (DSR, DSDV, AODV)
- Warum kein bestehendes Protokoll verwenden?



# Datenbasierte Kommunikation

---

- Ad-hoc-Routing-Protokolle sind adressbasiert
  - point-to-point Kommunikation
  - „general purpose“-Protokolle
  - Aggregation nicht möglich
- Datenbasierte Kommunikation in Sensornetzen
  - Nachrichten werden aufgrund ihres Inhalts geroutet
  - many-to-one und one-to-many Kommunikation
  - Protokolle sind application-aware
  - Aggregation möglich



# Energieeffizienz

---

- Ad-hoc-Routing-Protokolle optimiert für
  - Durchsatz
  - Latenz
  - Mobilität
- Energieeffizienz ist entscheidend in Sensornetzen
  - Energieverbrauch gleichmässig verteilen
  - Möglichst lange Knotenlebenszeit





# Ziele für Kommunikationsprotokolle

---

- Ermöglichen von
  - Datenverbreitung
  - Aggregation
- Energieeffizienz
  - Möglichst wenig Kommunikation
- Skalierbarkeit
  - Lokale Algorithmen, keine zentrale Kontrolle
- Anpassungsfähigkeit
  - Neue Knoten, Ausfall von Knoten



# Übersicht

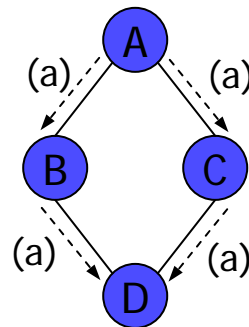
---

- Motivation & Ziele
- Protokolle
  - SPIN
  - Directed Diffusion
  - LEACH
  - TTDD
- Zusammenfassung & Fazit

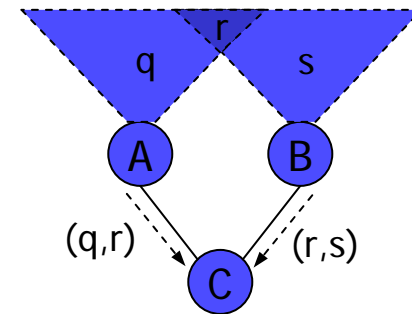


# SPIN

- Sensor Protocols for Information via Negotiation
  - Kulik, Heinzelman, Balakrishnan - MIT - 2002
- Flooding Variante
  - Datenverbreitung zu allen Knoten im Netz
- Behebt zwei Nachteile von Flooding
  - Implosion
  - Overlap



Implosion



Overlap

The logo for SPIN consists of a vertical black line on the left, a horizontal black line at the bottom, and three overlapping squares: a yellow one at the top left, a red one at the middle left, and a blue one at the bottom left. The word "SPIN" is written in a blue, sans-serif font to the right of the vertical line.

# SPIN

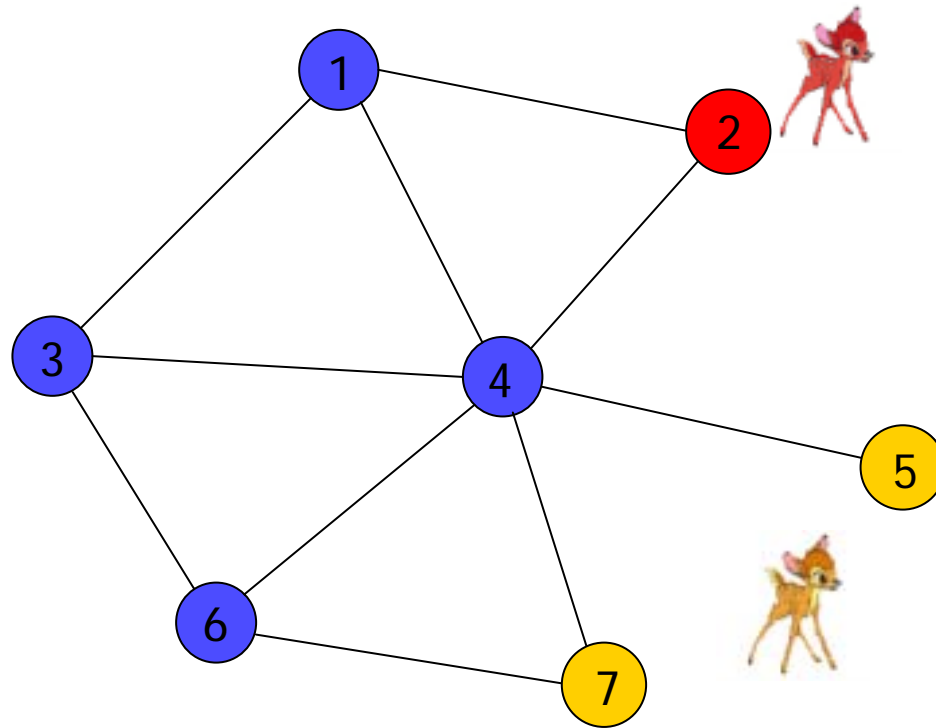
---

- Idee: Mit Handshake-Protokoll vor Datenverbreitung über Inhalt verhandeln
- Metadaten vermeiden unnötiges Senden
  - Datenbeschreibung benötigt
  - 1:1 Mapping zwischen Daten und Metadaten
  - Metadaten viel kürzer als Daten
- Drei Nachrichtentypen
  - ADV – Daten anbieten
  - REQ – spezifische Daten anfordern
  - DATA – eigentliche Daten

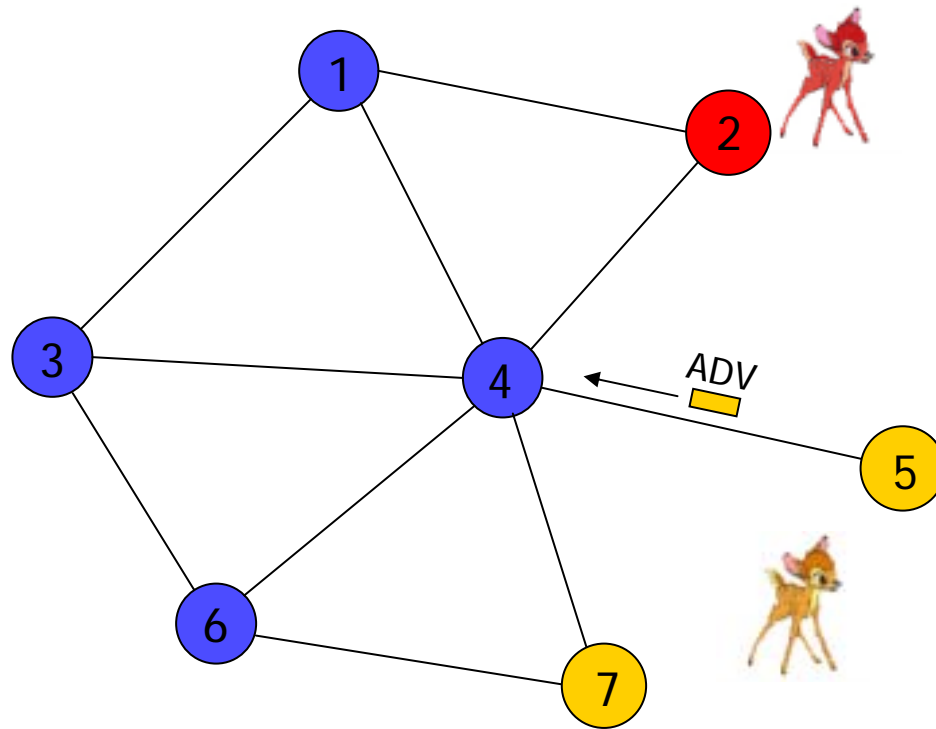


# SPIN

---

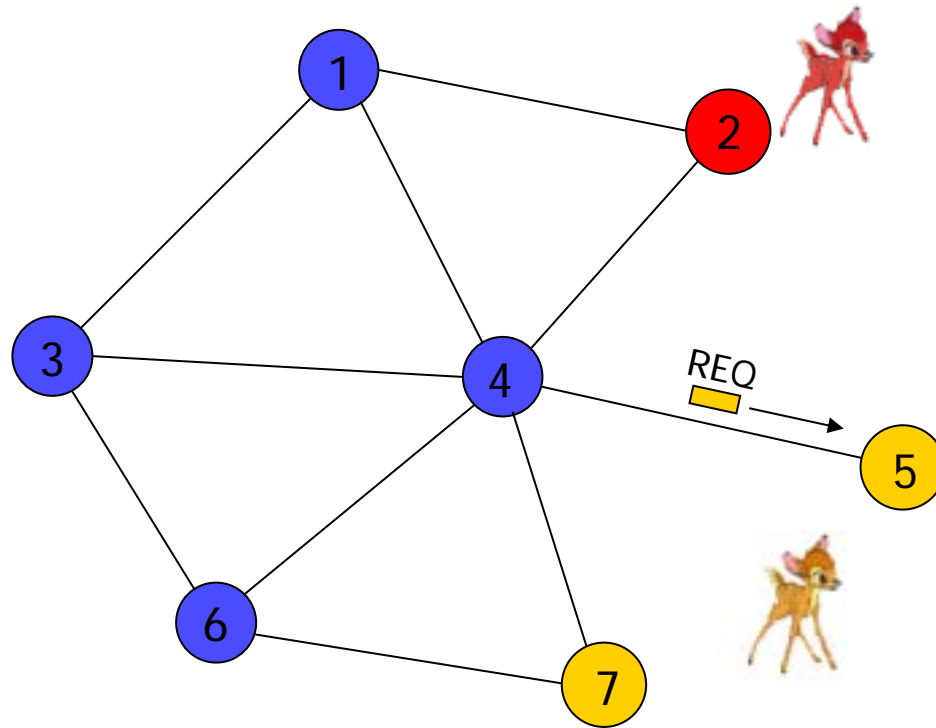


# SPIN





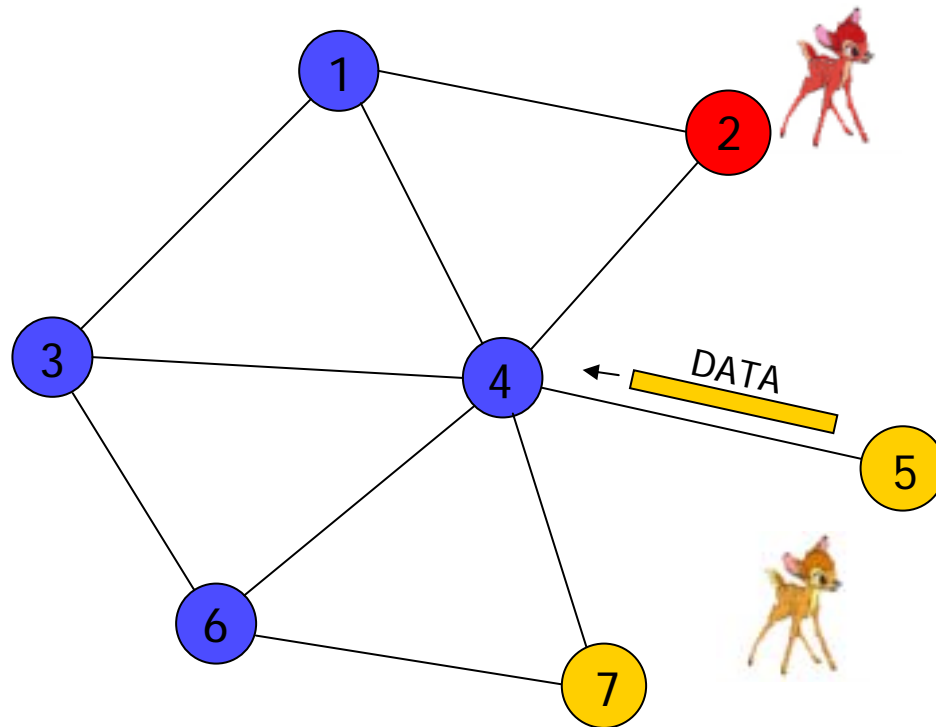
# SPIN





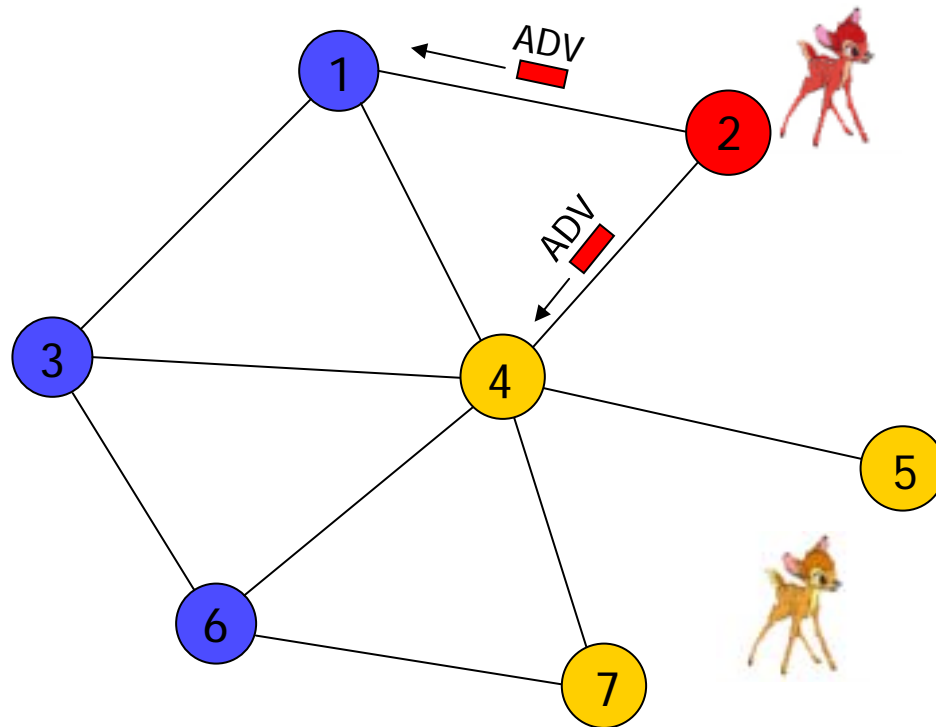
# SPIN

---

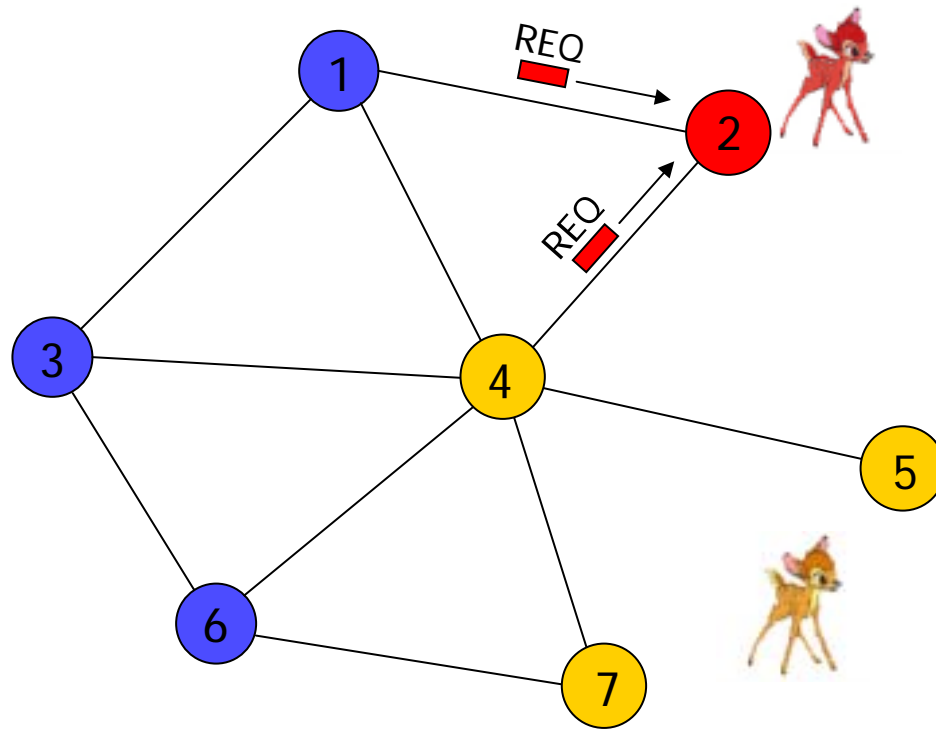




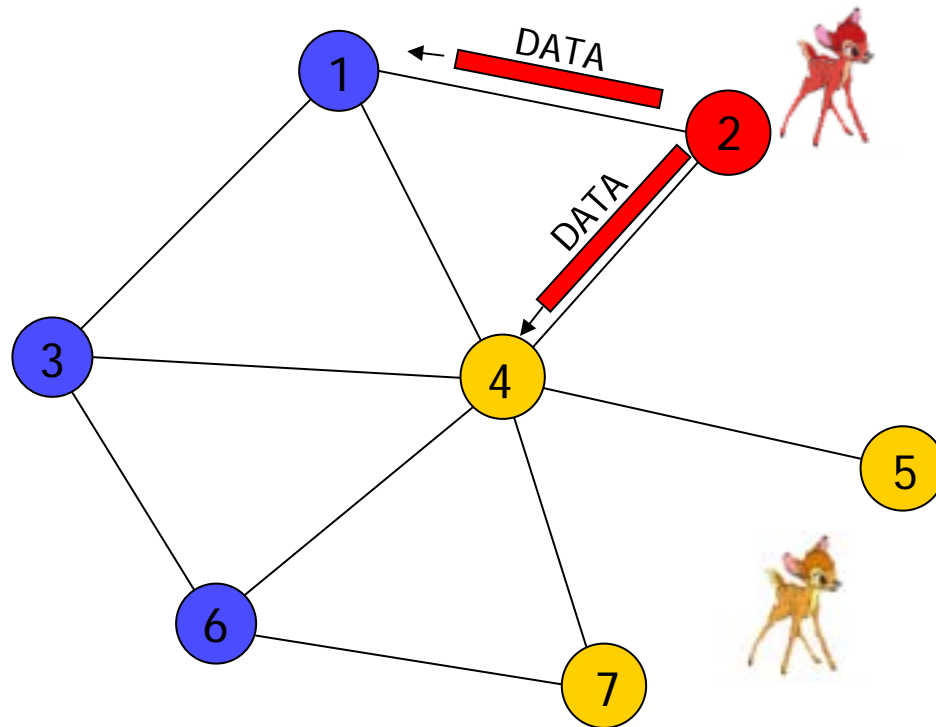
# SPIN



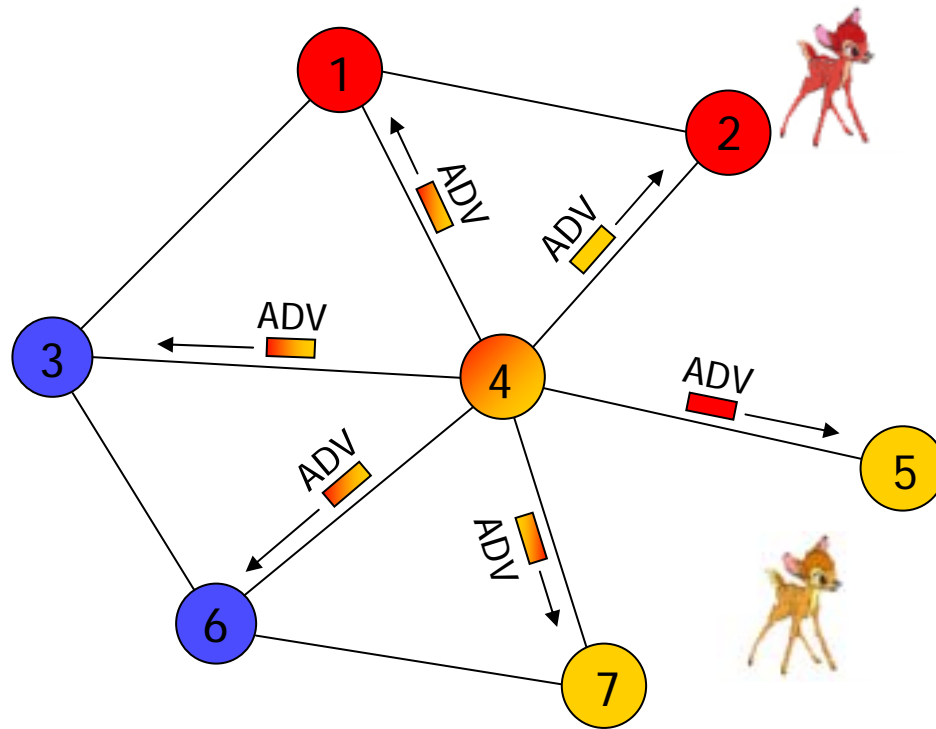
# SPIN



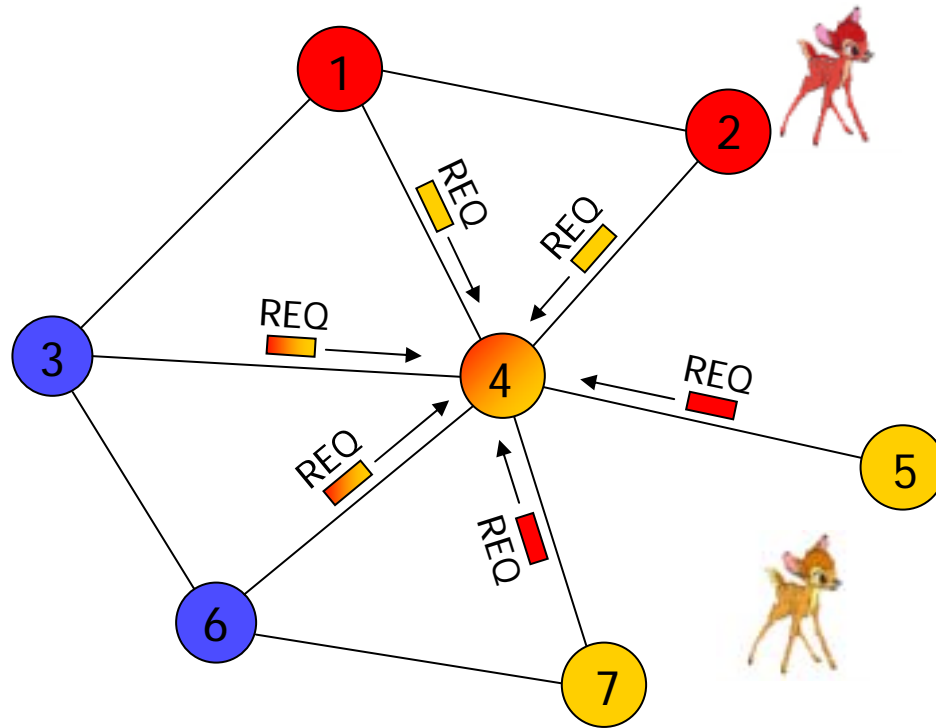
# SPIN



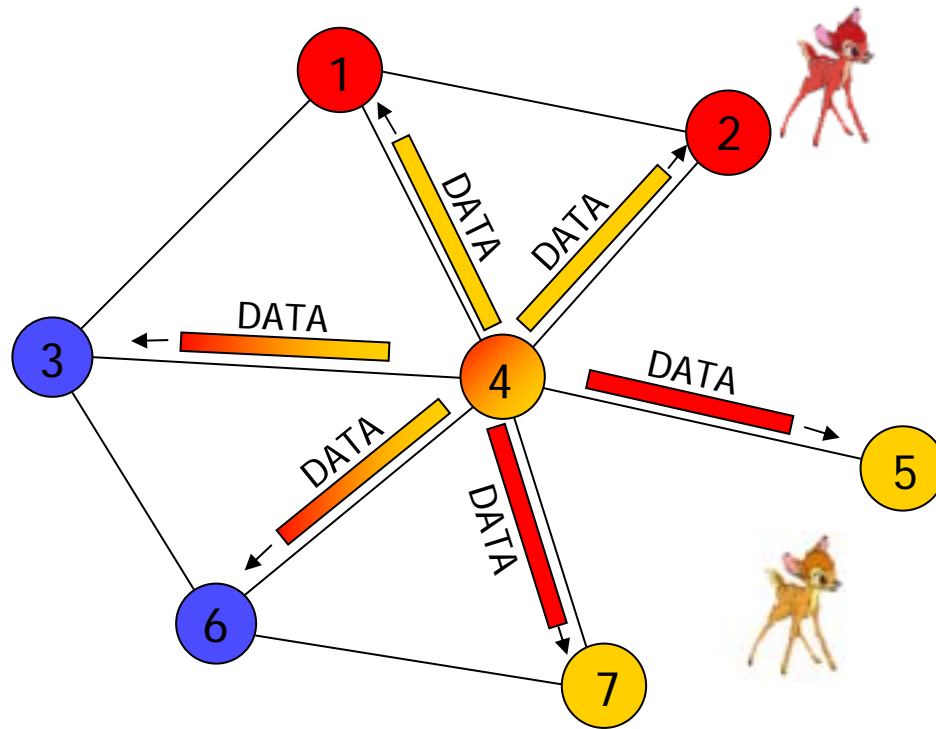
# SPIN



# SPIN



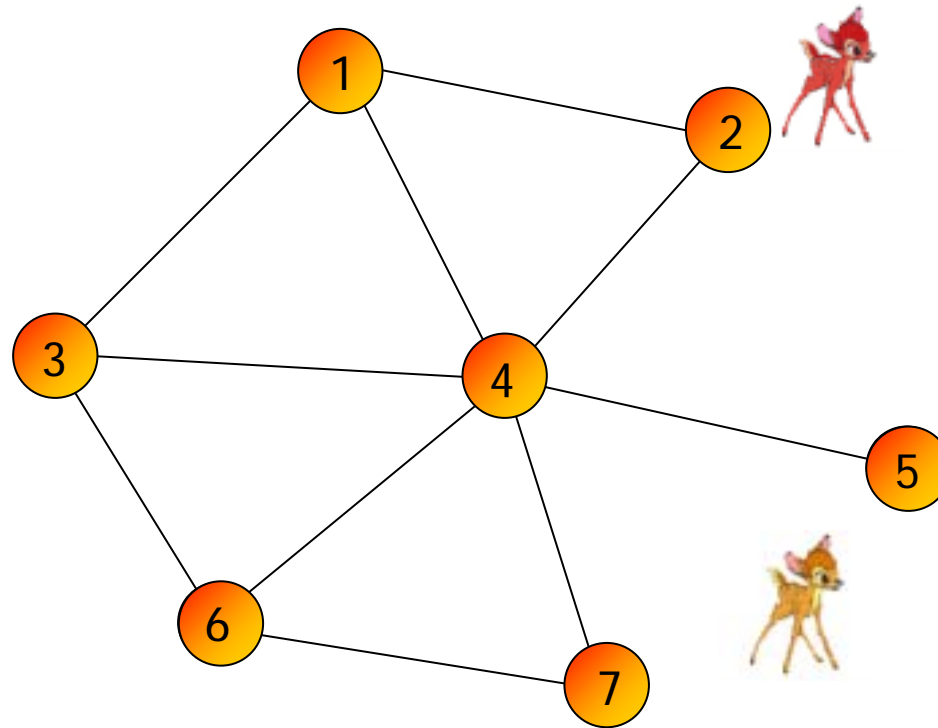
# SPIN





# SPIN

---





# SPIN

---

- Vorteile
  - Effizienter als klassisches Flooding
  - Nur lokale Interaktion
  - Immun gegen ausfallende Knoten
  - Einfachheit: ADV->REQ->DATA
- Nachteile
  - Nicht optimal, wenn Flooding nicht benötigt wird





# Übersicht

---

- Motivation & Ziele
- Protokolle
  - SPIN
  - Directed Diffusion ←
  - LEACH
  - TTDD
- Zusammenfassung & Fazit



# Directed Diffusion

---

- Inanagowiwat, Govindan, Estrin - USC - 2000
- Gradientenbasiertes Verfahren
  - Pfadkonstruktion um Daten zur Senke zu leiten
  - Datenverbreitung wird von Senke initiiert
- Idee: Erst eine Interessensbekundung leitet Datenverbreitung ein



# Directed Diffusion

---

- Knoten injiziert „Interest“ in Sensornetz
  - Attribute-Value Paare
  - Flooding, Geo-Cast, ...
- „Interest“ Beispiel für Location-Tracking

```
type = bambi
interval = 20 ms
duration = 120 s
rect = [0,200,200,400]
```

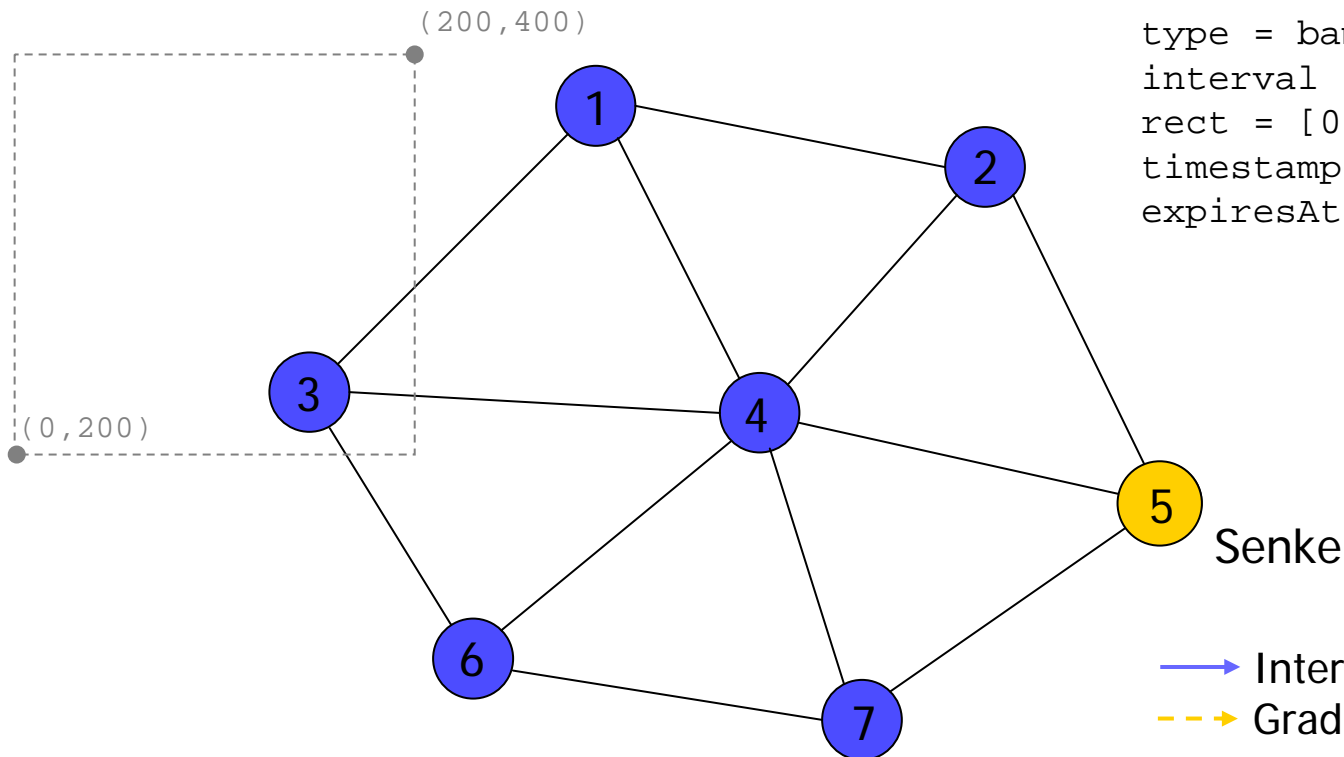


# Directed Diffusion

---

- „Interest“-Empfänger errichten Gradienten
  - Gradient = Datenrate & Richtung (Sender)
  - Etabliert Pfade von Quelle(n) zu Senke
- Knoten beobachtet „interessantes“ Ereignis
  - Daten werden entlang Gradienten zur Senke geroutet
- Senke verkürzt Intervall für „besten“ Pfad
  - „Reinforcement“-Nachrichten
  - Pfadauswahl anhand Latenz, Energie...

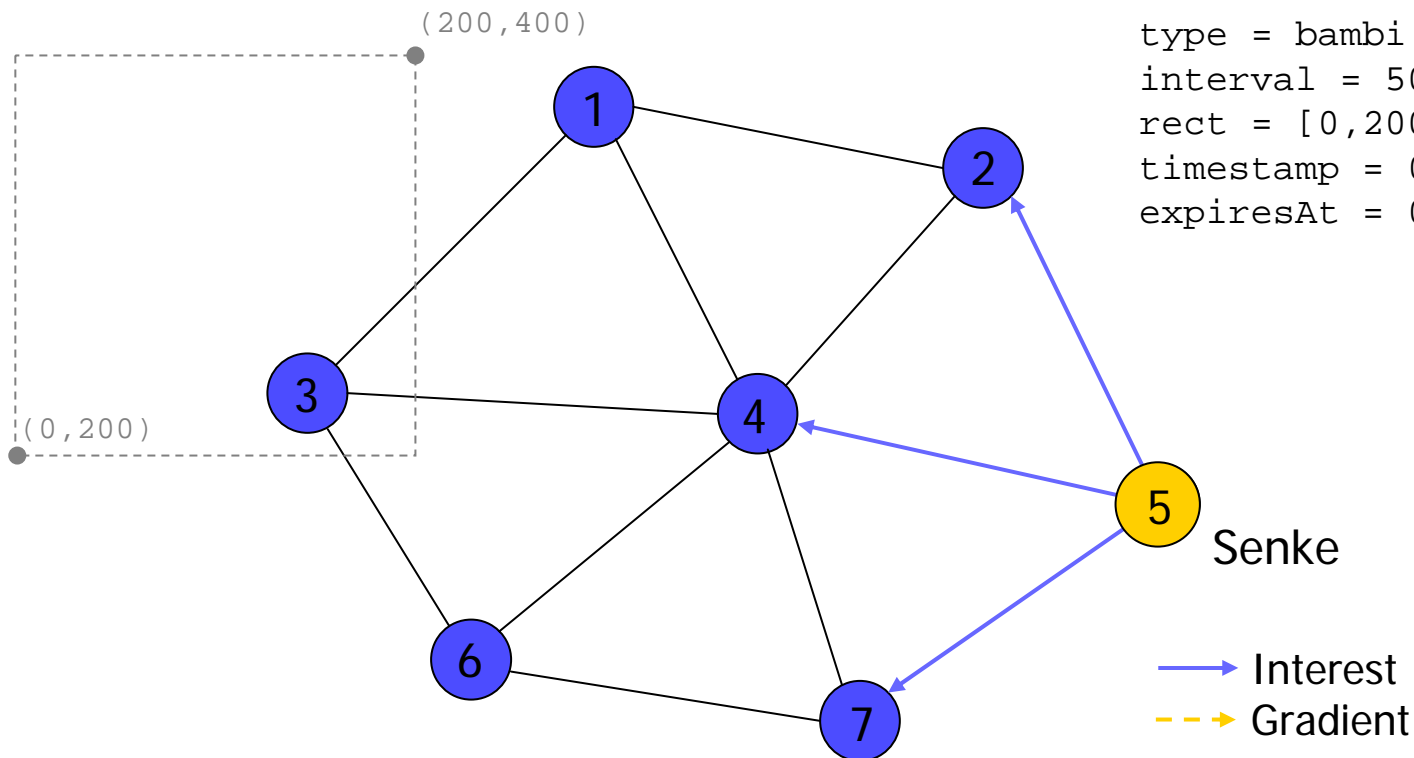
# Directed Diffusion



Interest:

```
type = bambi
interval = 500 ms
rect = [0,200,200,400]
timestamp = 01:20:40
expiresAt = 01:22:40
```

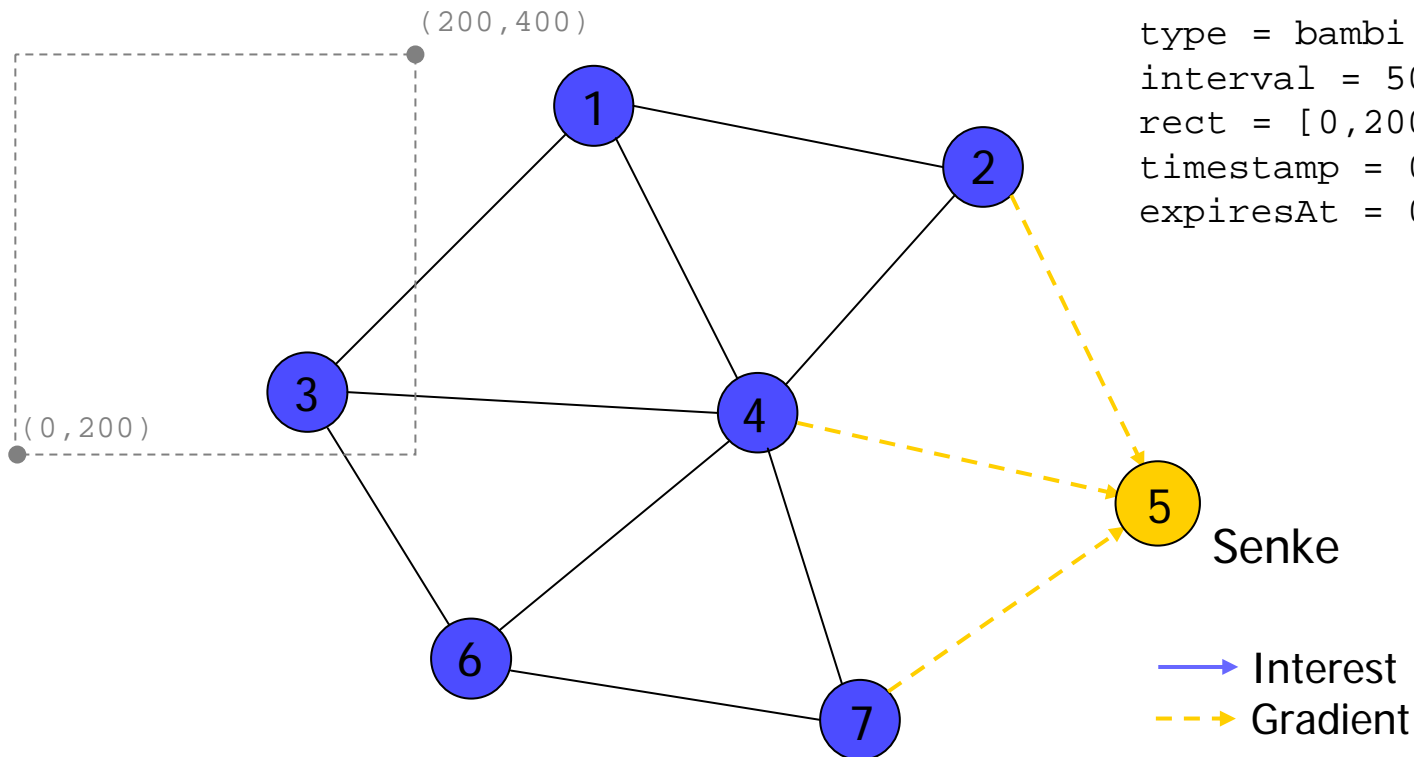
# Directed Diffusion



Interest:

```
type = bambi
interval = 500 ms
rect = [0,200,200,400]
timestamp = 01:20:40
expiresAt = 01:22:40
```

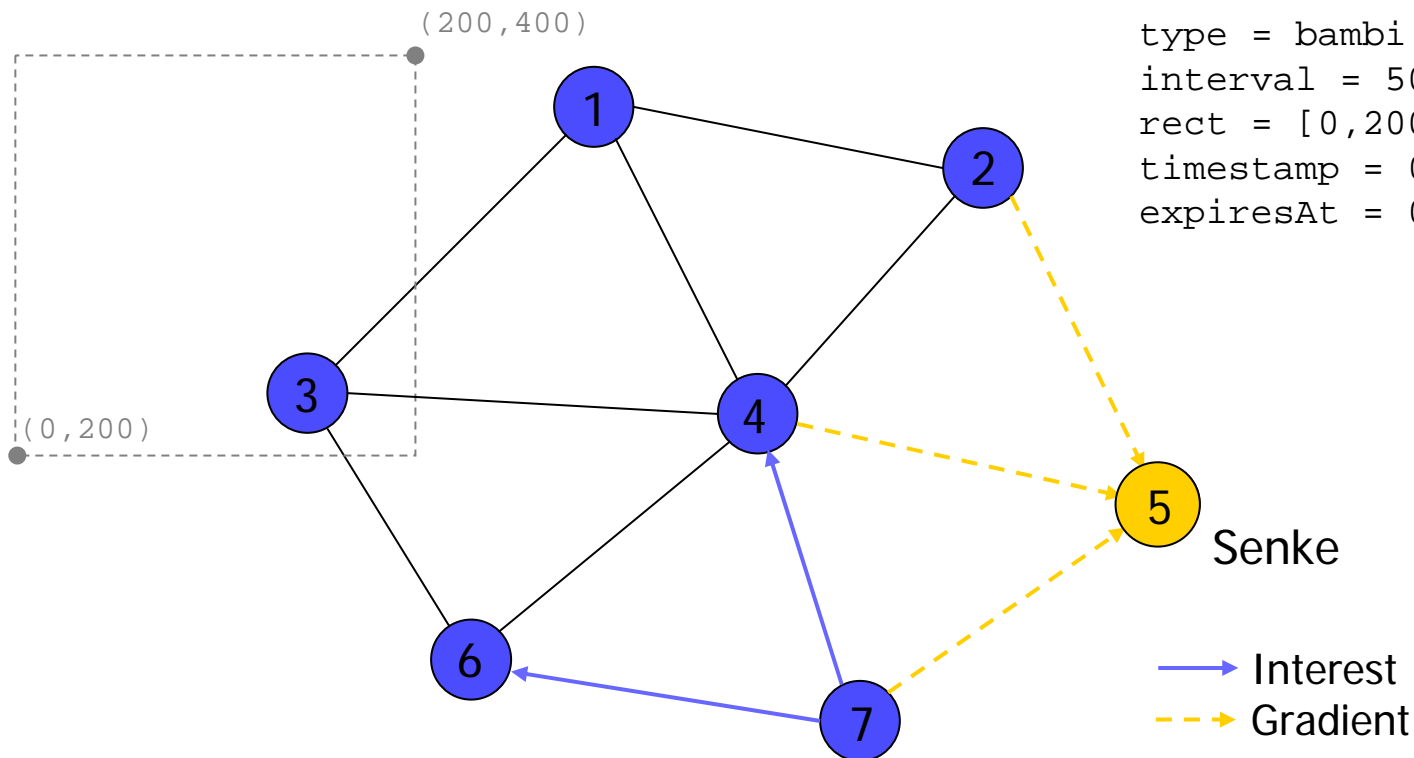
# Directed Diffusion



Interest:

```
type = bambi
interval = 500 ms
rect = [0,200,200,400]
timestamp = 01:20:40
expiresAt = 01:22:40
```

# Directed Diffusion

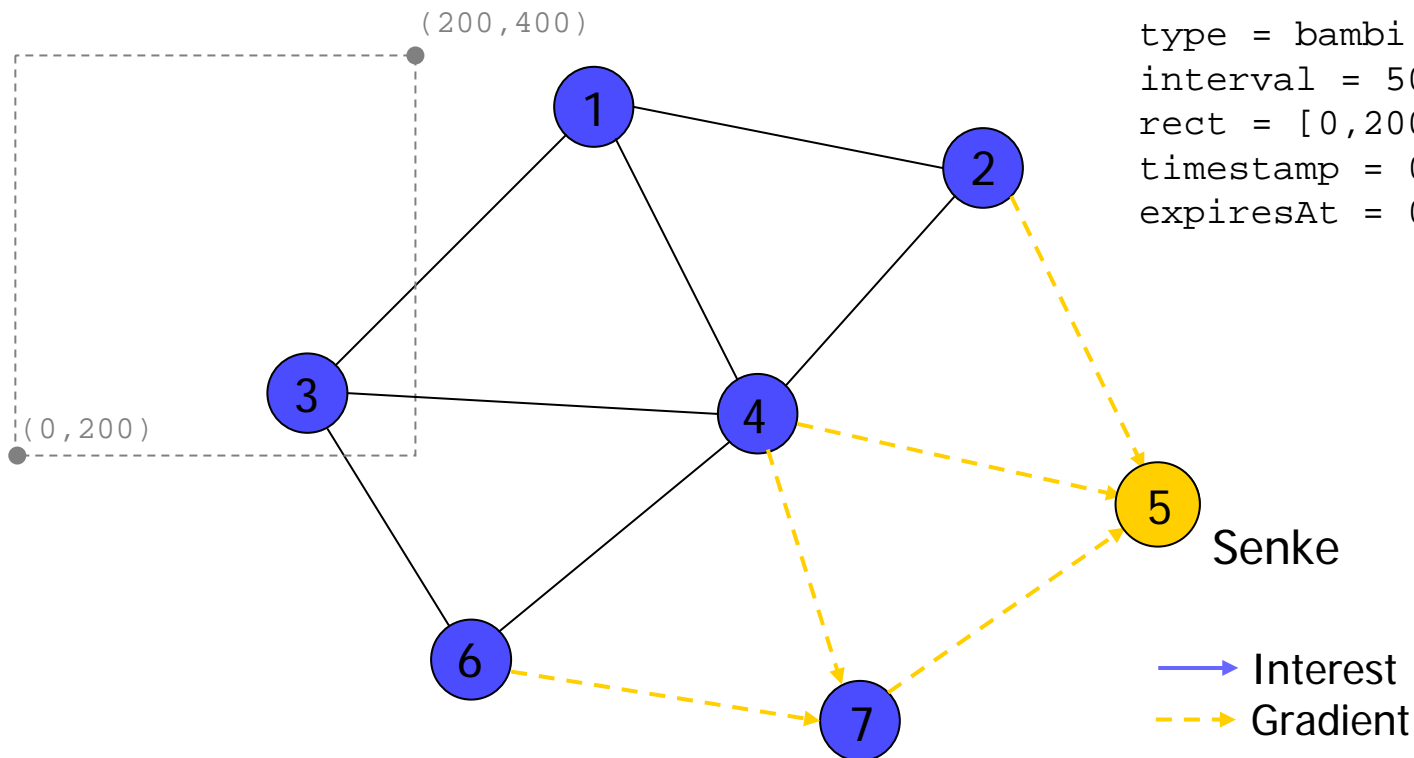


Interest:

```
type = bambi
interval = 500 ms
rect = [0,200,200,400]
timestamp = 01:20:40
expiresAt = 01:22:40
```



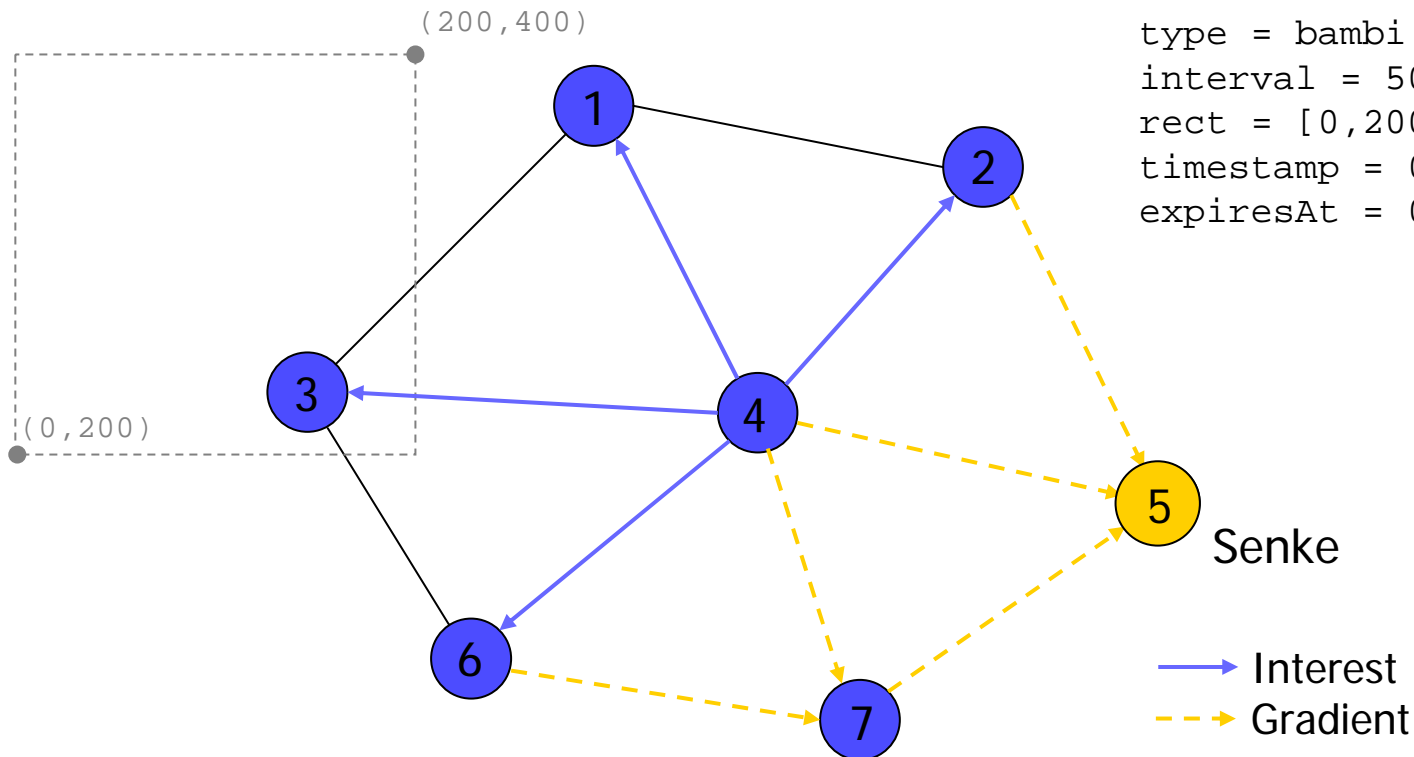
# Directed Diffusion



Interest:

```
type = bambi
interval = 500 ms
rect = [0,200,200,400]
timestamp = 01:20:40
expiresAt = 01:22:40
```

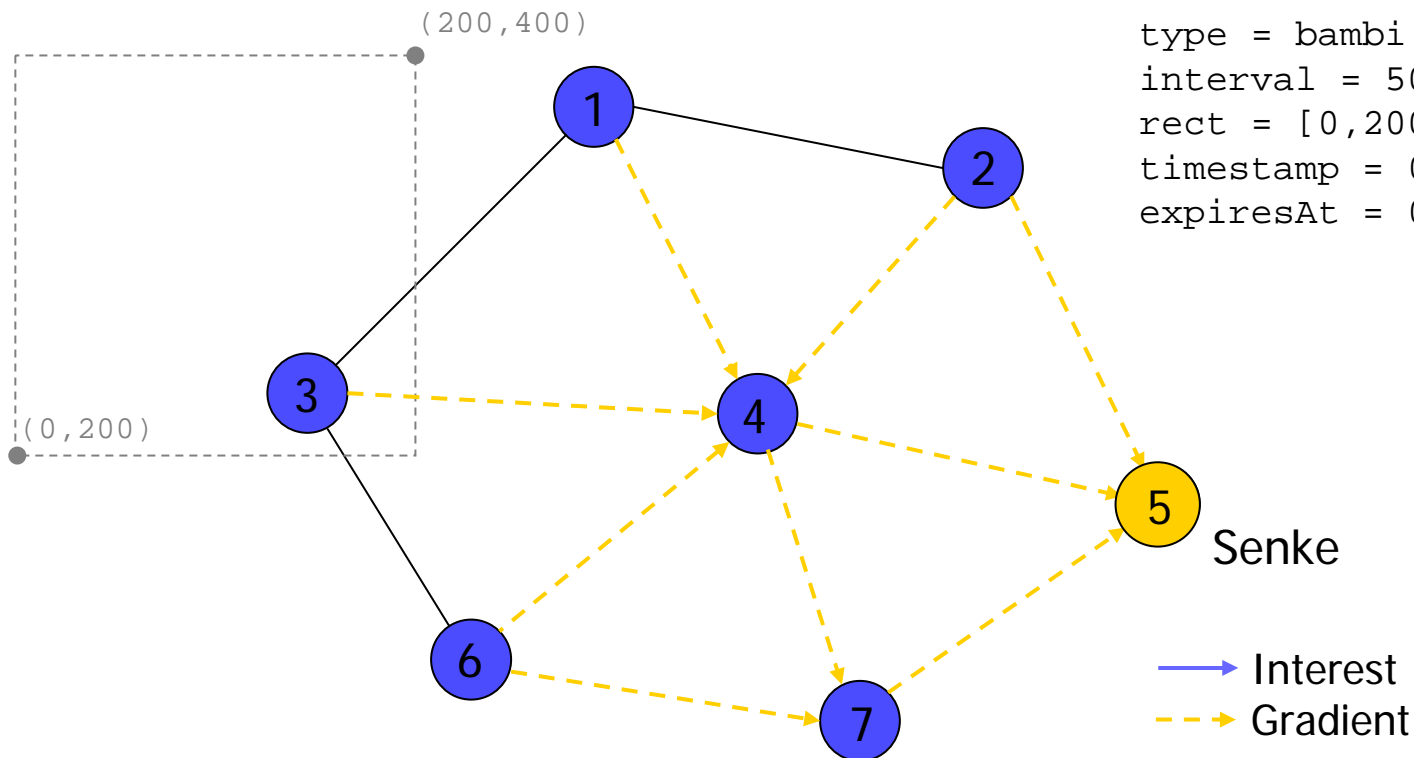
# Directed Diffusion



Interest:

```
type = bambi
interval = 500 ms
rect = [0,200,200,400]
timestamp = 01:20:40
expiresAt = 01:22:40
```

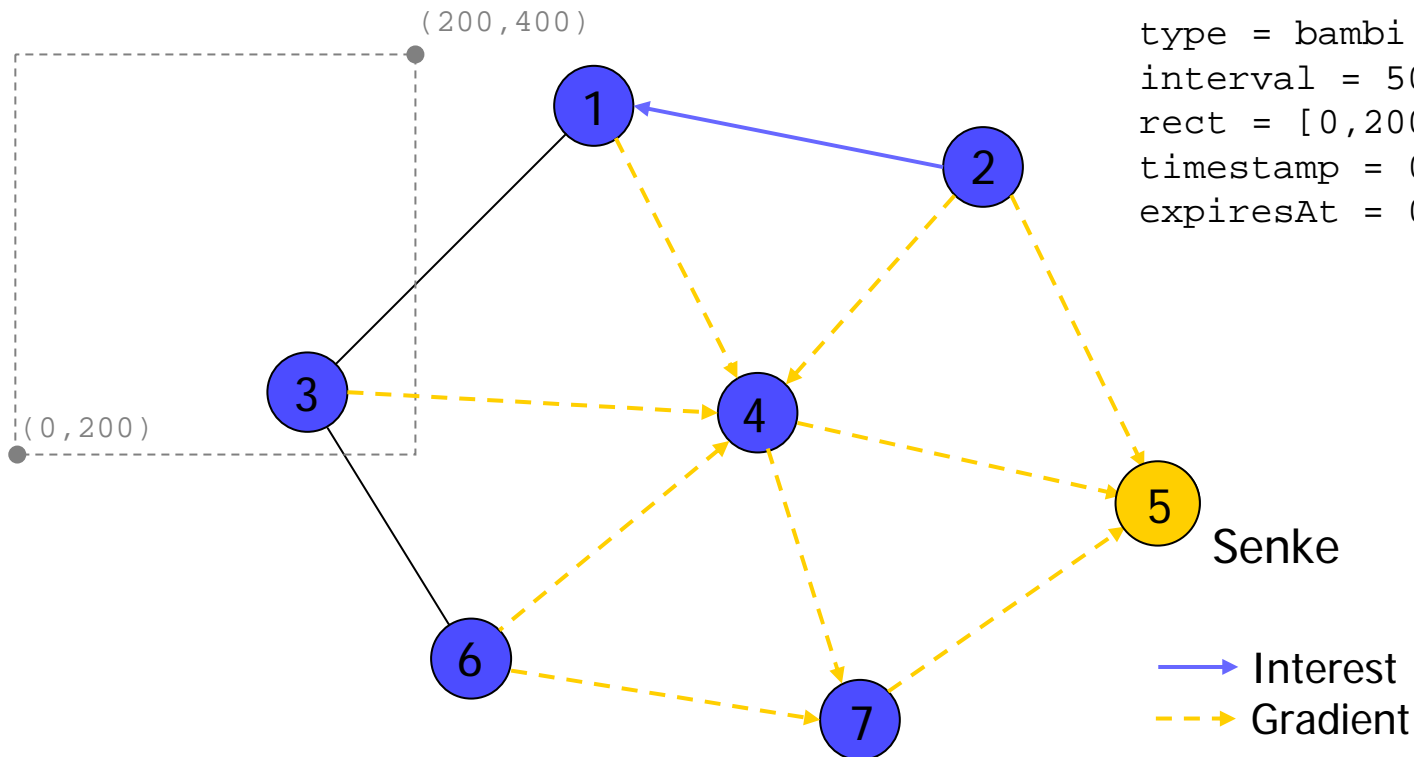
# Directed Diffusion



Interest:

```
type = bambi
interval = 500 ms
rect = [0,200,200,400]
timestamp = 01:20:40
expiresAt = 01:22:40
```

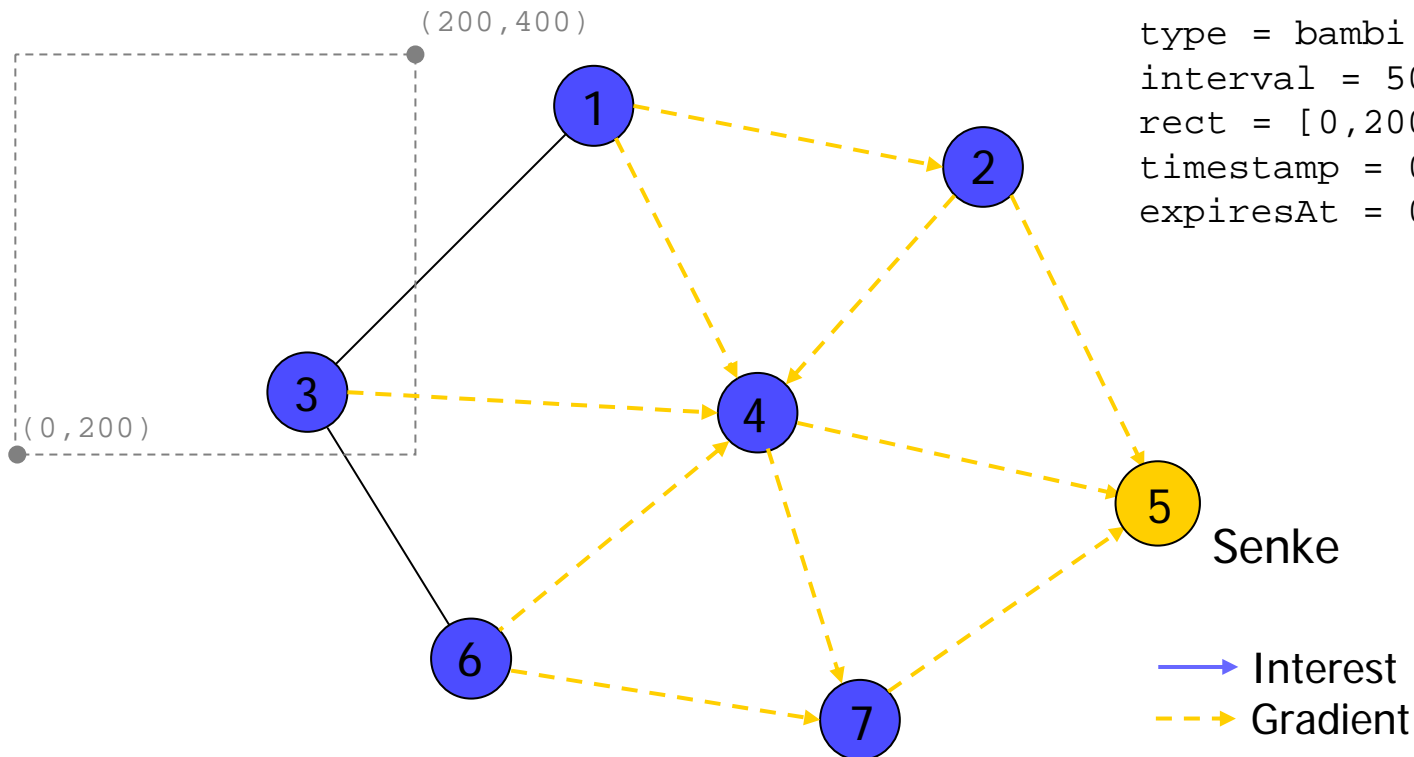
# Directed Diffusion



Interest:

```
type = bambi
interval = 500 ms
rect = [0,200,200,400]
timestamp = 01:20:40
expiresAt = 01:22:40
```

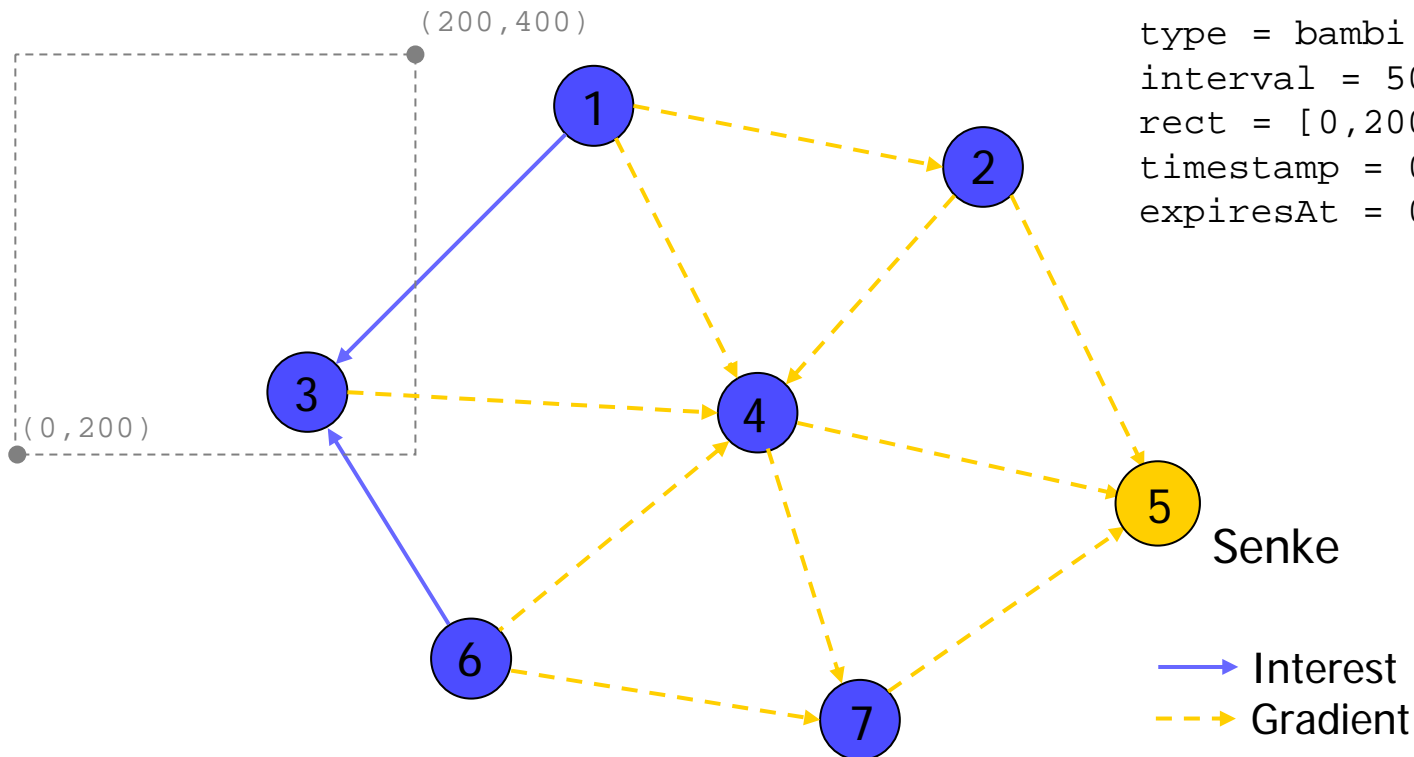
# Directed Diffusion



Interest:

```
type = bambi
interval = 500 ms
rect = [0,200,200,400]
timestamp = 01:20:40
expiresAt = 01:22:40
```

# Directed Diffusion



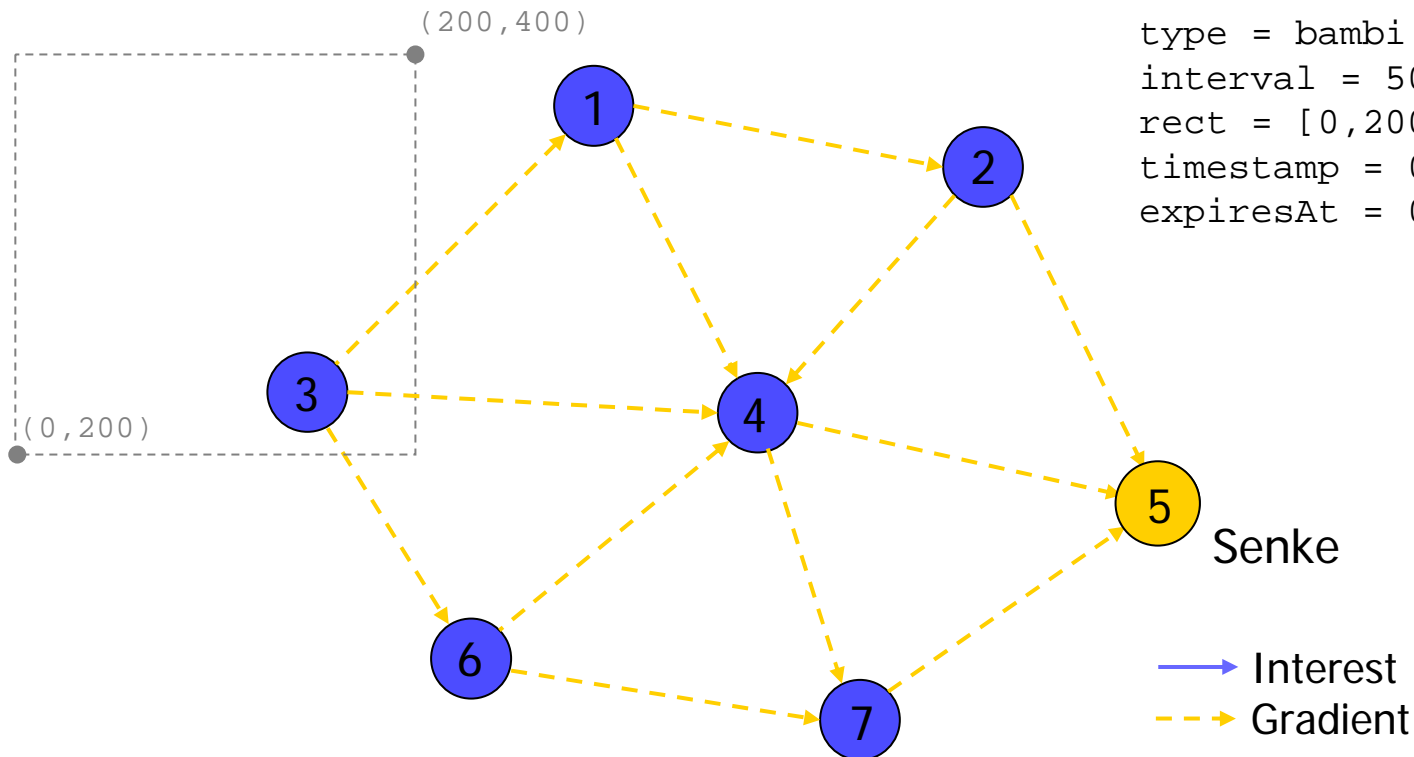
Interest:

```
type = bambi
interval = 500 ms
rect = [0,200,200,400]
timestamp = 01:20:40
expiresAt = 01:22:40
```

Senke

— Interest  
- - Gradient

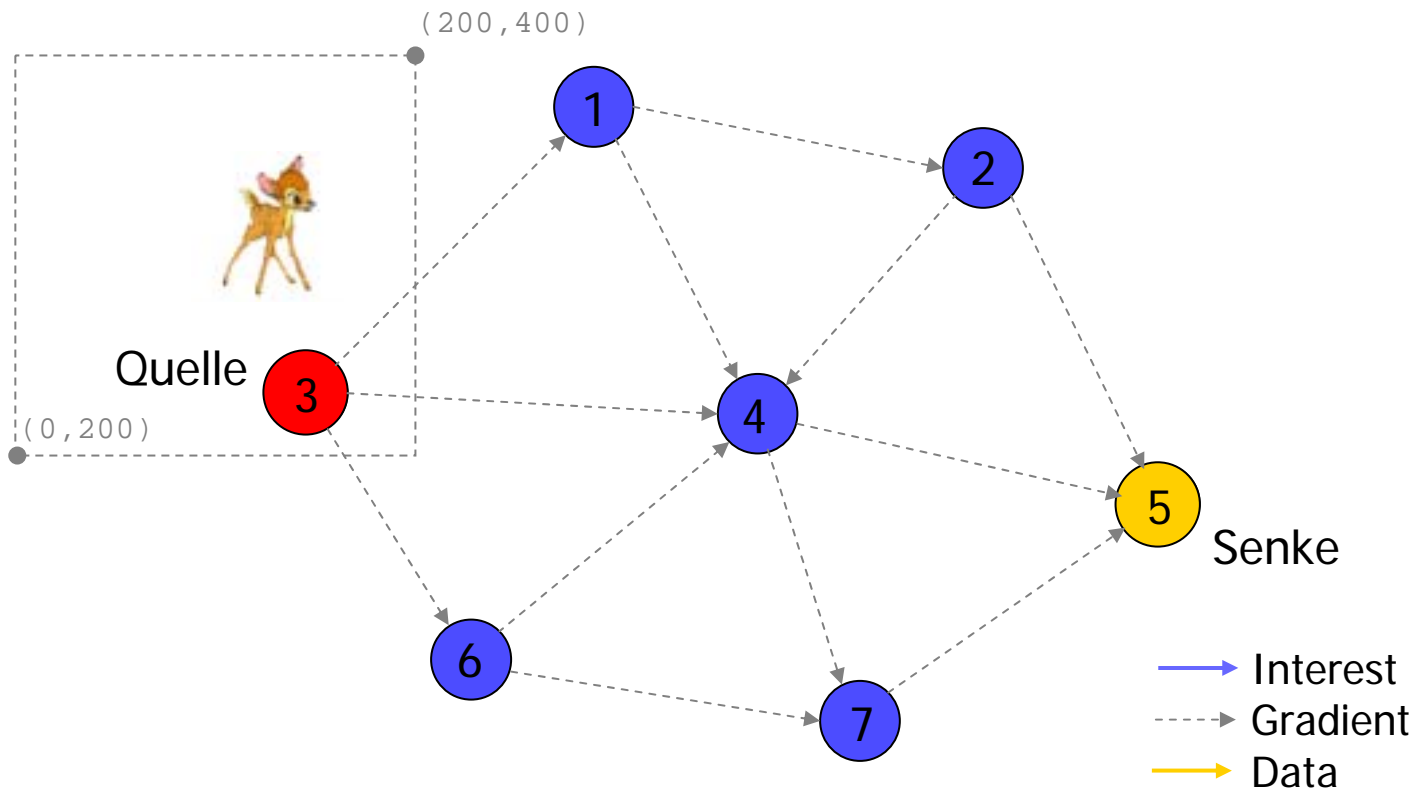
# Directed Diffusion



Interest:

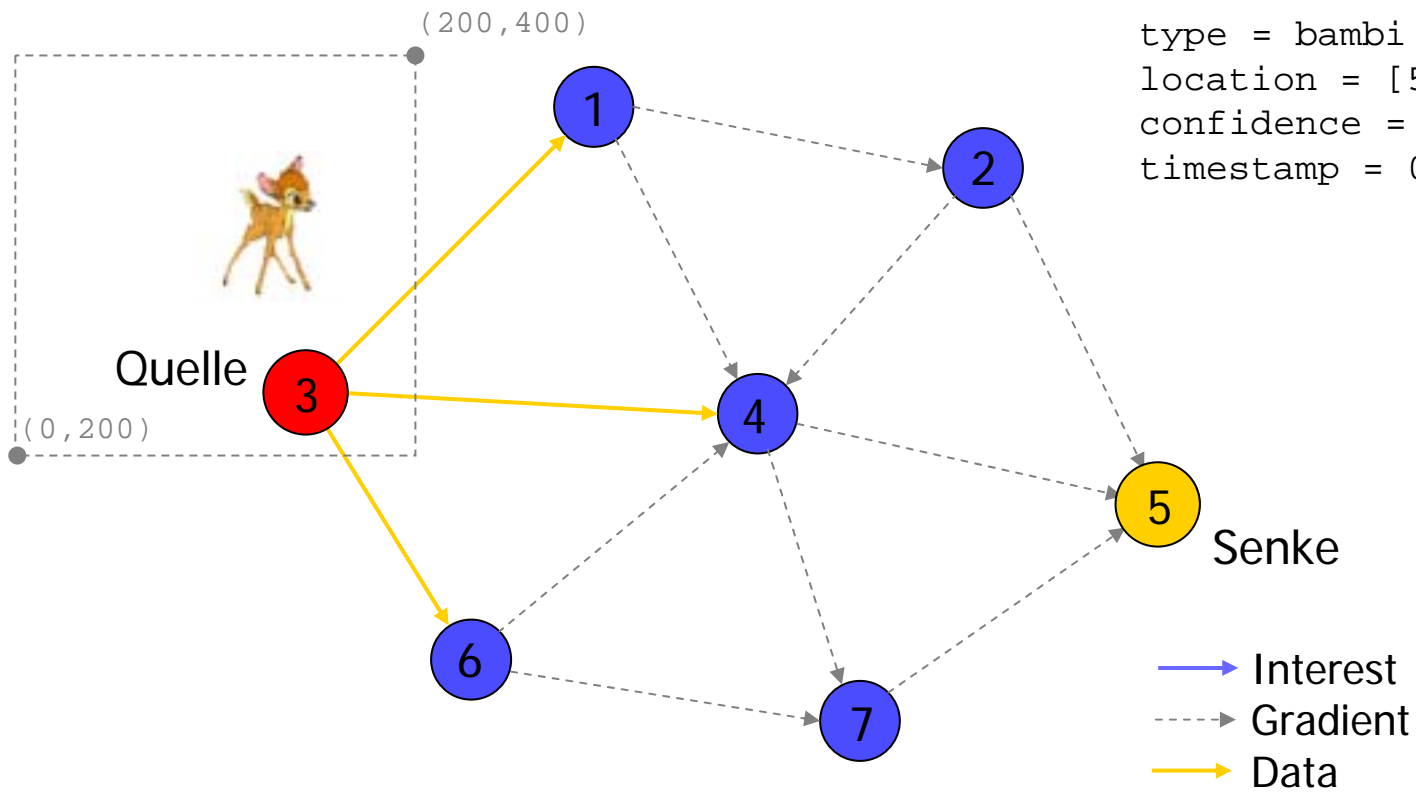
```
type = bambi
interval = 500 ms
rect = [0,200,200,400]
timestamp = 01:20:40
expiresAt = 01:22:40
```

# Directed Diffusion





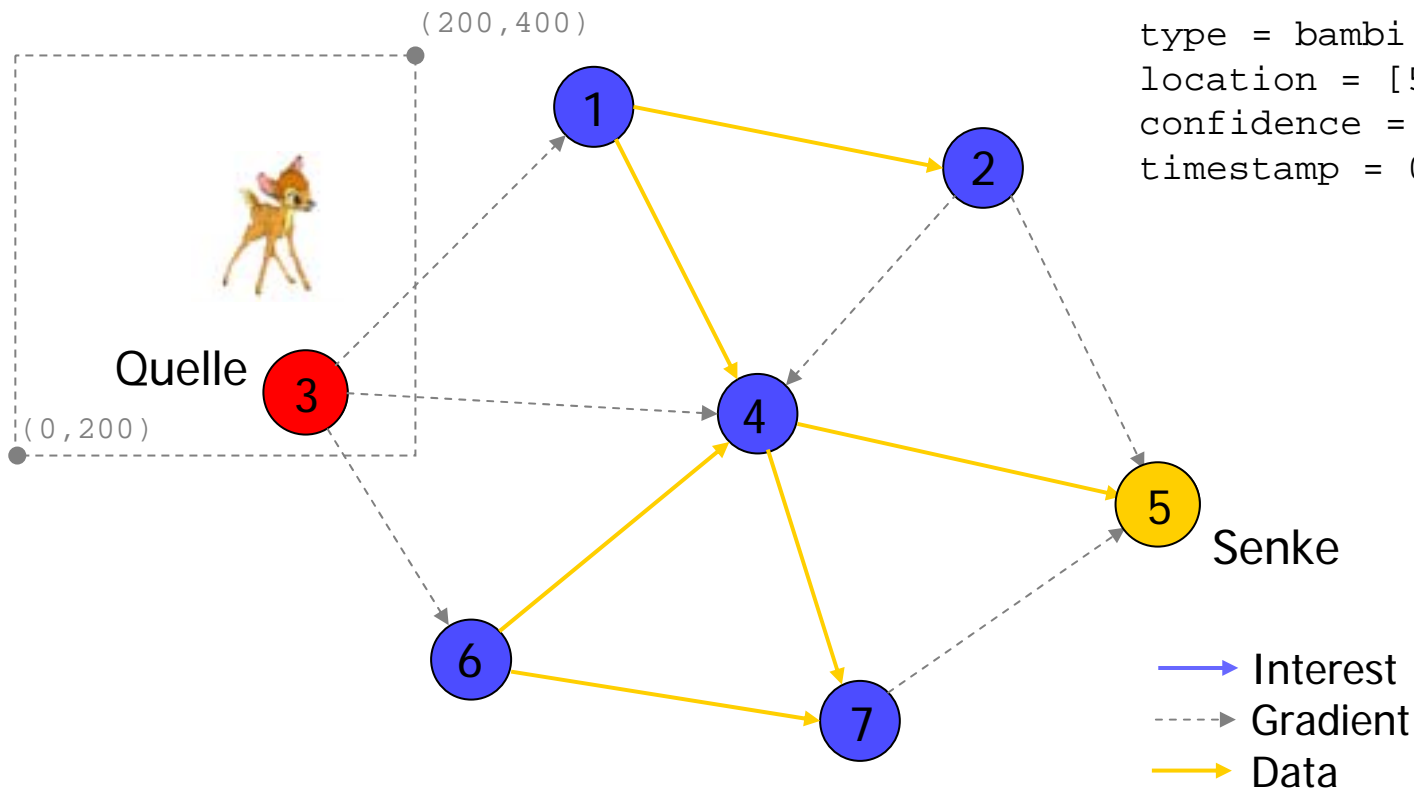
# Directed Diffusion



Data:

```
type = bambi  
location = [50,220]  
confidence = 0.85  
timestamp = 01:21:40
```

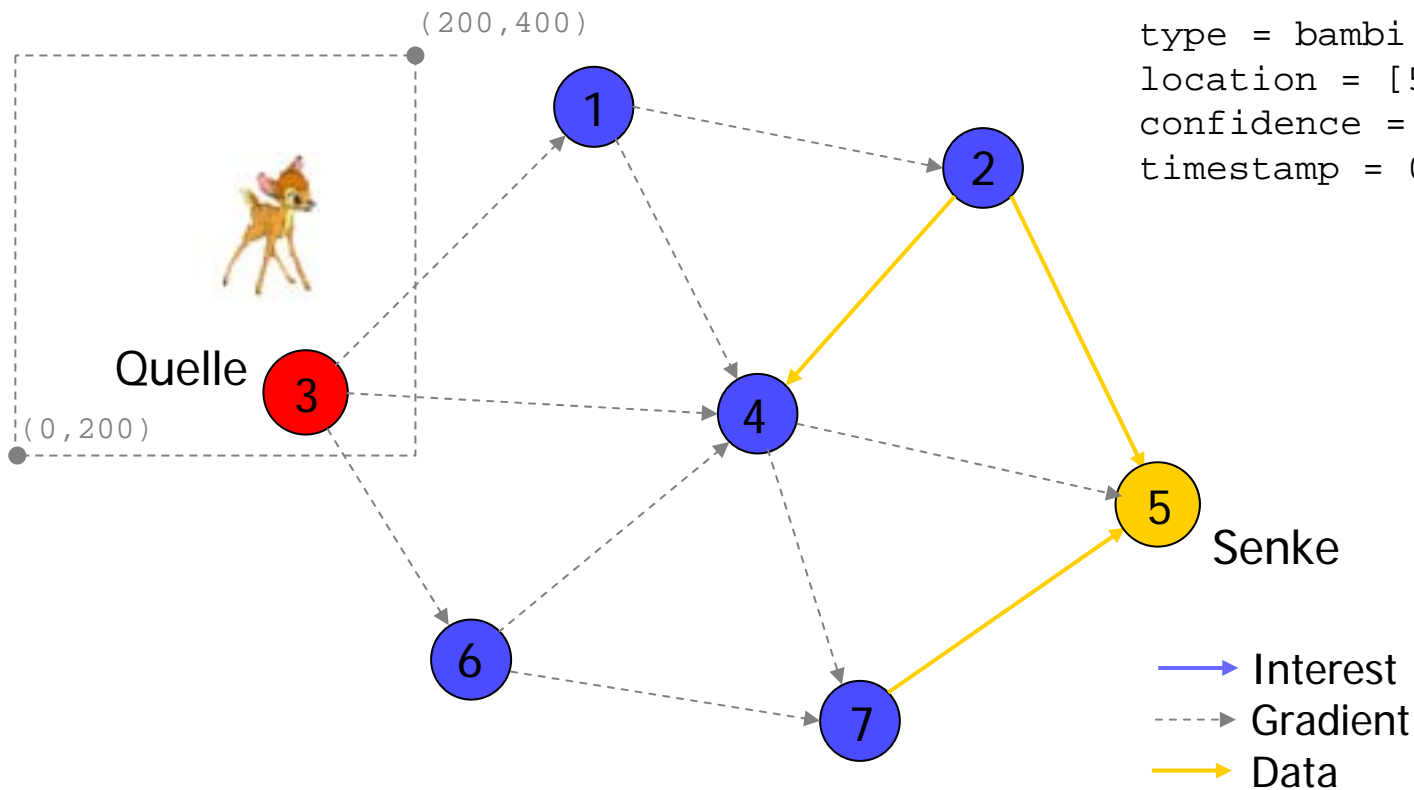
# Directed Diffusion



Data:

```
type = bambi  
location = [50, 220]  
confidence = 0.85  
timestamp = 01:21:40
```

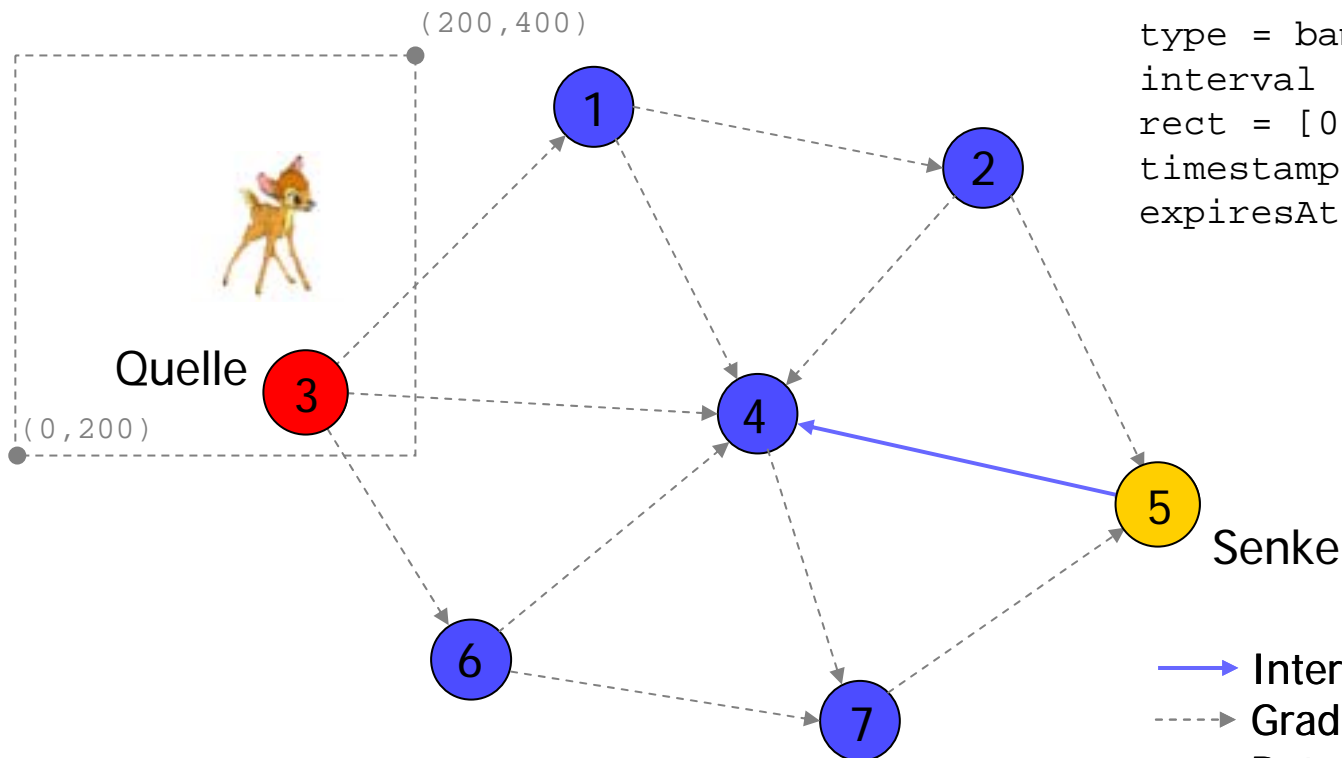
# Directed Diffusion



Data:

```
type = bambi  
location = [50,220]  
confidence = 0.85  
timestamp = 01:21:40
```

# Directed Diffusion

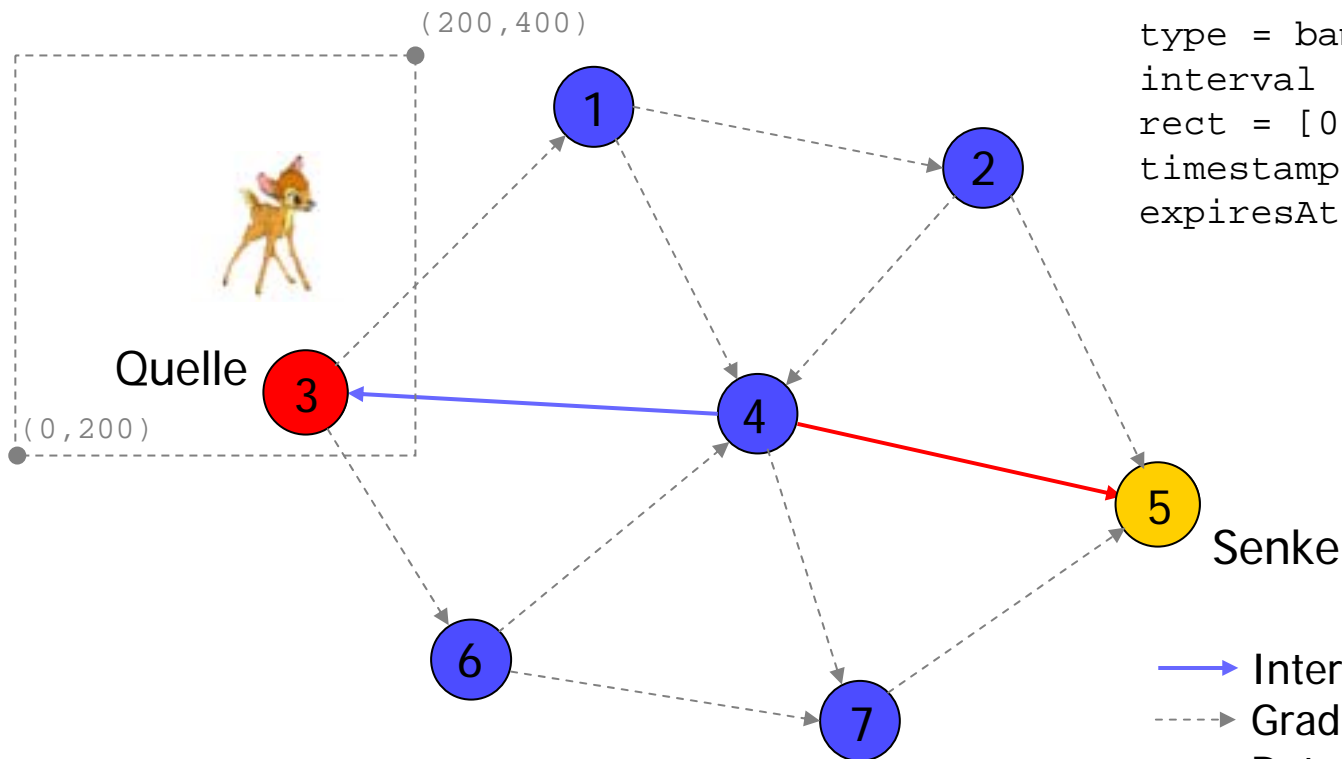


Interest:

```
type = bambi
interval = 20 ms
rect = [0,200,200,400]
timestamp = 01:21:50
expiresAt = 01:23:50
```

- Interest
- - - Gradient
- Data
- Reinforced Path

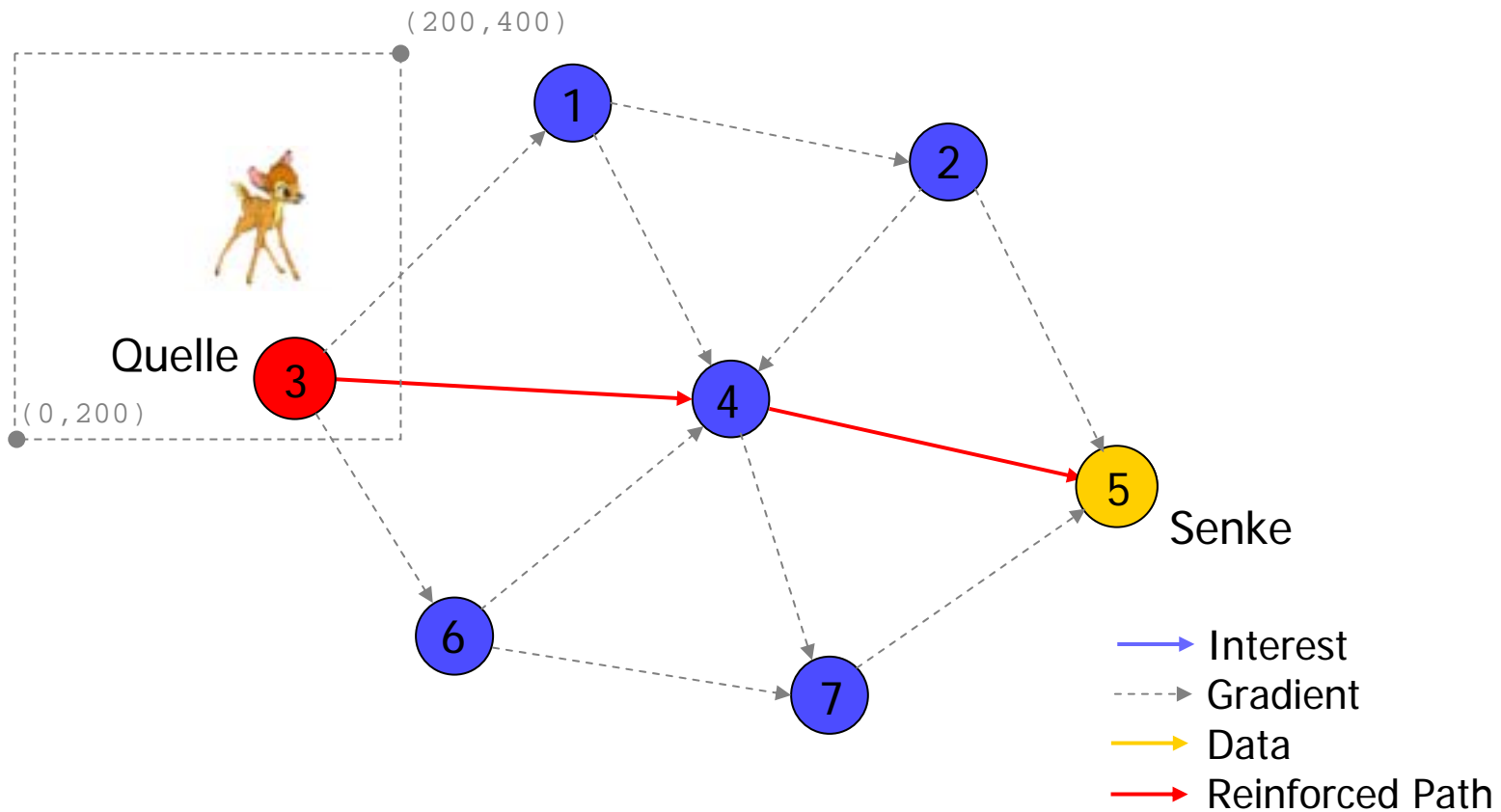
# Directed Diffusion



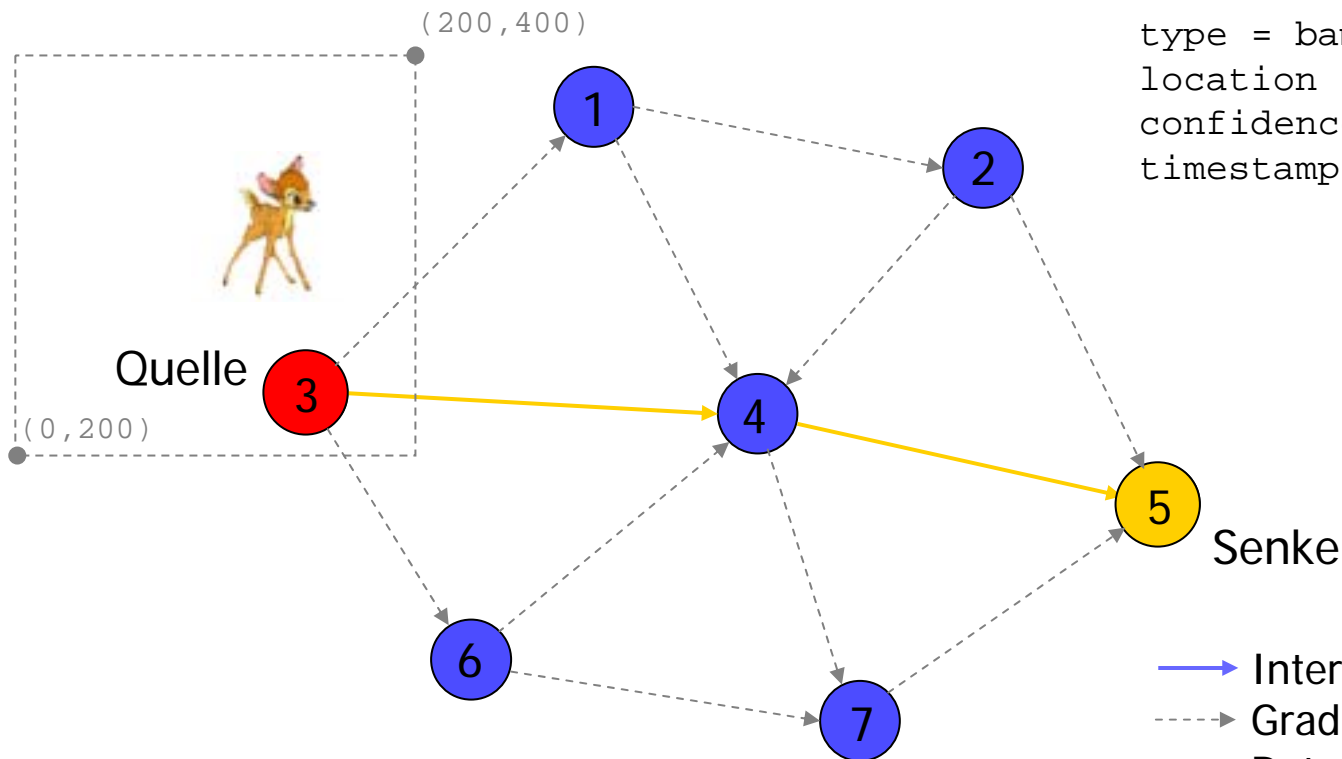
Interest:

```
type = bambi
interval = 20 ms
rect = [0,200,200,400]
timestamp = 01:21:50
expiresAt = 01:23:50
```

# Directed Diffusion



# Directed Diffusion



Data:

```
type = bambi  
location = [50,220]  
confidence = 0.85  
timestamp = 01:21:51
```

- Interest
- - - Gradient
- Data
- Reinforced Path



# Directed Diffusion

---

- Vorteile
  - Weniger Kommunikation als bei Flooding
  - Mehrere Pfade werden unterhalten
  - Daten werden auf kürzesten Pfaden geroutet
- Nachteile
  - Gradienten-Setup-Phase teuer
  - Aufrechterhaltung alternativer Pfade





# Übersicht

---

- Motivation & Ziele
- Protokolle
  - SPIN
  - Directed Diffusion
  - **LEACH**
  - TTDD
- Zusammenfassung & Fazit



The logo for LEACH consists of a vertical black line on the left, a horizontal black line at the bottom, and three overlapping squares: a yellow one at the top left, a red one at the middle left, and a blue one at the bottom left. The word "LEACH" is written in a blue, sans-serif font to the right of the vertical line.

# LEACH

---

- Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy
  - Heinzelman, Chandrakasan, Balakrishnan - MIT - 2000
- Clustering Variante
  - Nur Cluster-Head kommuniziert mit Basisstation
  - Rotation der Cluster-Heads
  - Rundenbasiertes Protokoll
- Eine Runde ist in 2 Phasen aufgeteilt
  - Setup-Phase
  - Steady-State-Phase



# LEACH – Setup-Phase

---

- Wahl der Cluster-Heads
  - Knoten  $n$  wählt Zahl  $s$  aus Intervall  $[0,1)$
  - Wenn  $s < T(n)$  gilt, Knoten  $n$  wird Cluster-Head

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P * (r \bmod \frac{1}{P})} & , \text{ wenn } n \in G \\ 0 & , \text{ sonst} \end{cases}$$

$P$  = gewünschter Prozentsatz an Cluster-Heads

$r$  = aktuelle Runde

$G$  = Menge von Knoten, die in den letzten  $1/P$  Runden keine Cluster-Heads waren



# LEACH – Setup-Phase

---

- Cluster-Head wirbt um alle anderen Knoten
  - Broadcast einer Advertisement-Nachricht
- Knoten antworten „nächstem“ Cluster-Head
  - Auswertung der Signalstärke
- Cluster-Head erstellt TDMA Schedule
  - Jedem Cluster-Knoten wird ein Zeitfenster zugeteilt
  - CDMA Codierung um Cluster gegenseitig abzuschirmen



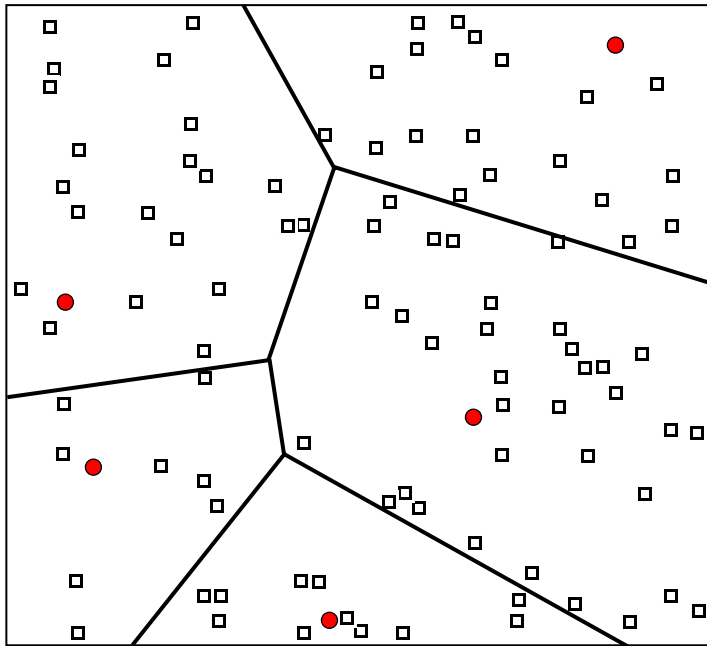
# LEACH – Steady-State-Phase

---

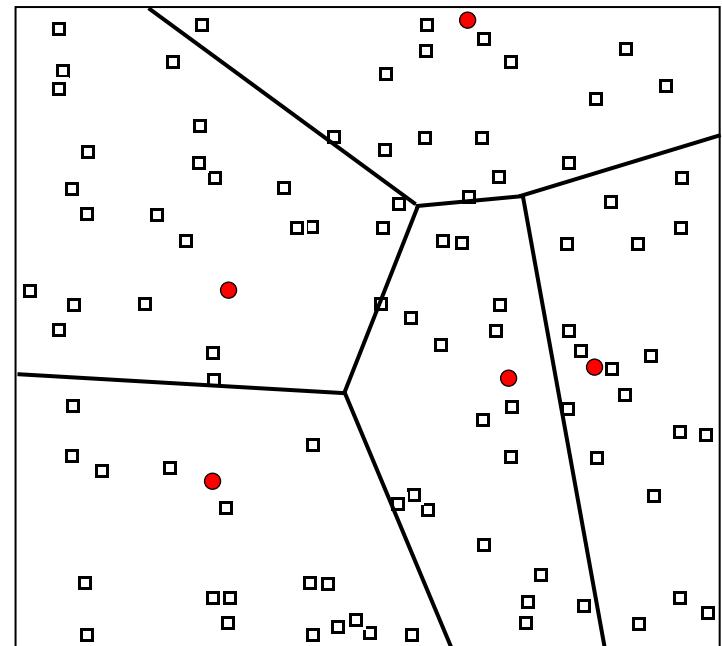
- Knoten senden Daten an Cluster-Head
  - Annahme: Knoten haben immer etwas zu senden
  - Datenübertragung mit minimaler Energie
- Cluster-Head sendet Daten an Basisstation
  - Empfang der Daten aller Cluster-Knoten
  - Aggregation dieser Daten
  - Cluster-Head sendet aggregierte Daten an Basisstation



# LEACH



Runde  $r$



Runde  $r+1$



# LEACH

---

- Vorteile
  - Energieverbrauch wird gleichmässig verteilt
  - Knoten können Funk oft abschalten
  - Hierarchisches Clustering möglich
- Nachteile
  - Alle Knoten müssen Basisstation erreichen
  - Probleme wenn Cluster-Head ausfällt



# Übersicht

---

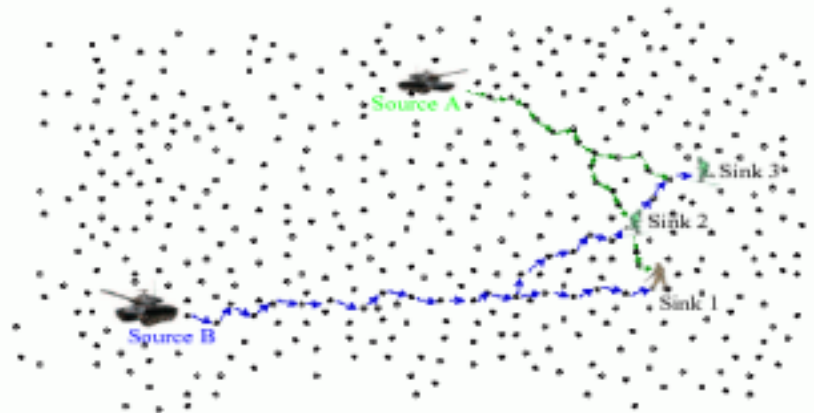
- Motivation & Ziele
- Protokolle
  - SPIN
  - Directed Diffusion
  - LEACH
  - **TTDD**
- Zusammenfassung & Fazit





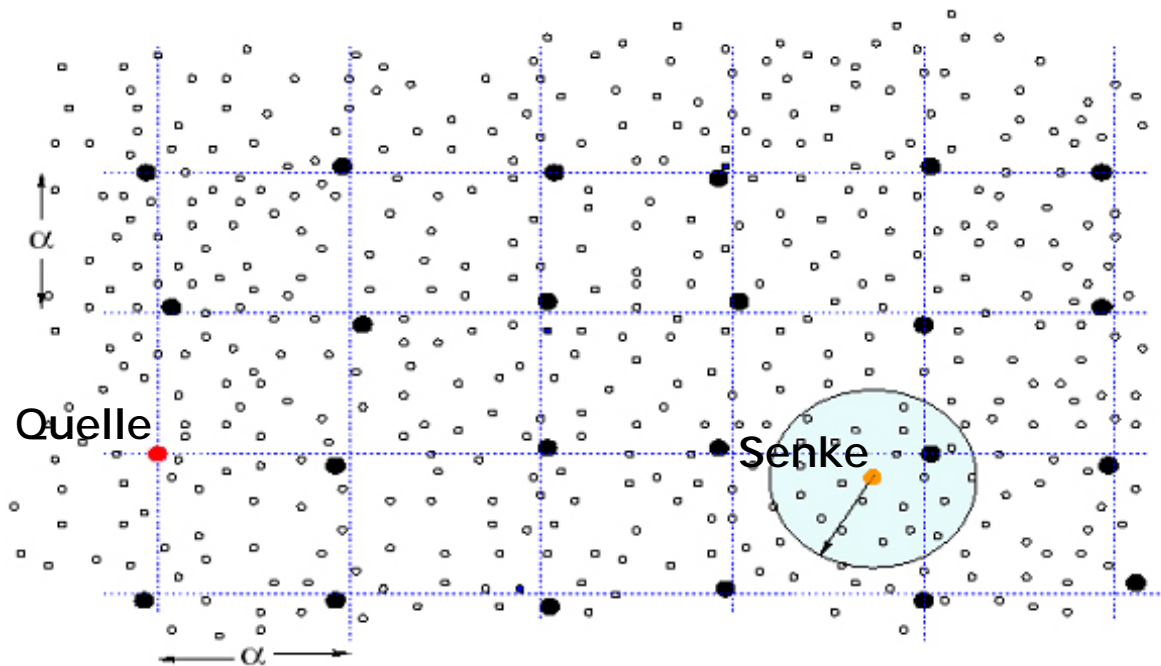
# TTDD

- Two-Tier Data Dissemination
  - Ye, Luo, Cheng, Lu, Zahng – UCLA - 2002
- Voraussetzungen
  - Stationäre Knoten mit Standortkenntnis
  - Mobile Senken



# TTDD

- Quelle baut Infrastruktur für Datenverbreitung
  - Senke nutzt Infrastruktur für Anfragen





# TTDD

---

- Tier-1
  - Flooding einer Anfrage limitiert auf eine Zelle
  - Datenverbreitung innerhalb einer Zelle
- Tier-2
  - Routing der Anfragen entlang der Gitterknoten (dissemination nodes)
  - Routing der Daten entlang der Gitterknoten



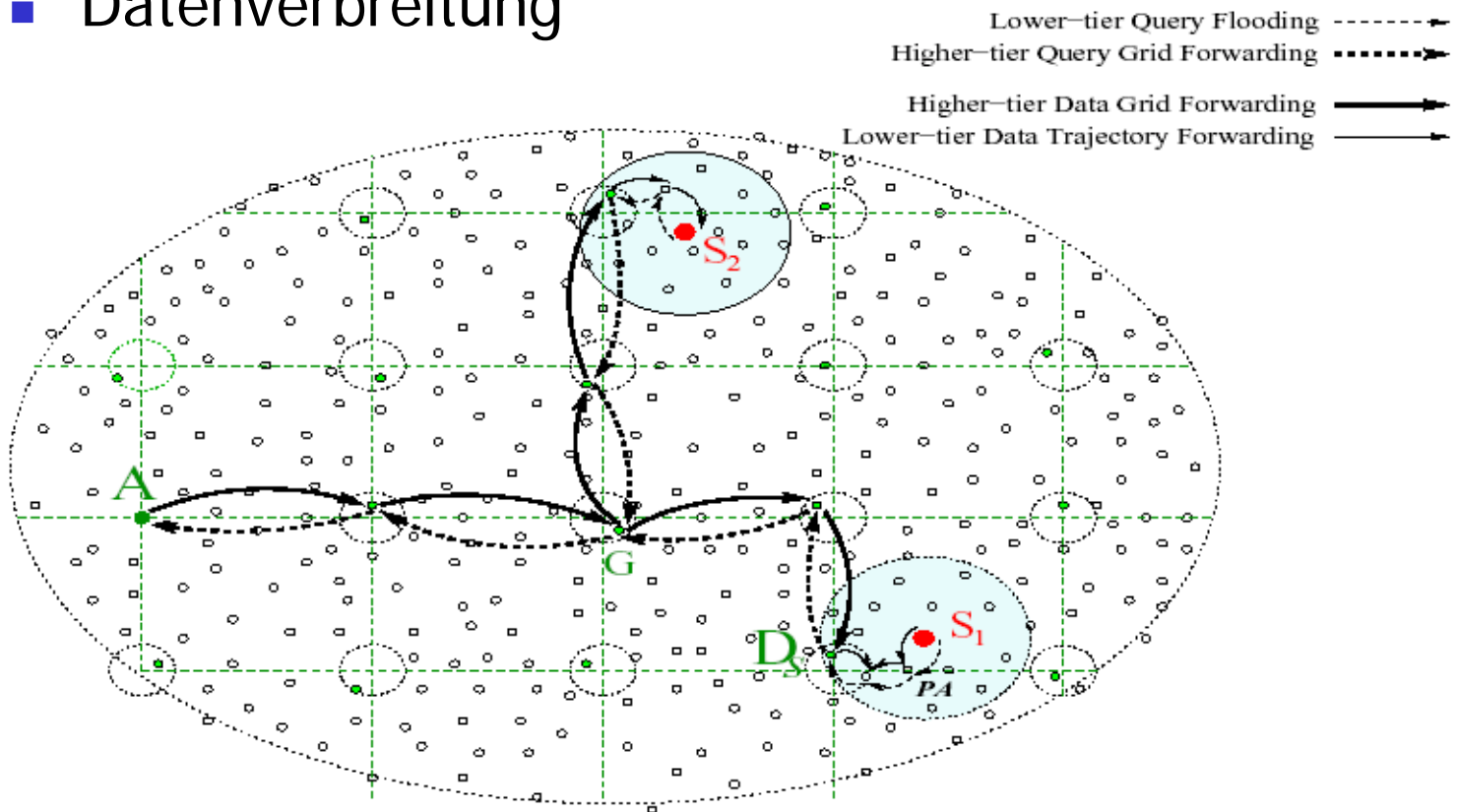
# TTDD – Gitterkonstruktion

---

- Quelle sendet Nachricht an Gitterpunkte
  - $(x+\alpha, y)$ ,  $(x-\alpha, y)$ ,  $(x, y+\alpha)$ ,  $(x, y-\alpha)$
  - Greedy geographical forwarding
- „naher“ Knoten wird zu Gitterknoten
  - Näher als alle Nachbarn zum berechneten Punkt
  - Distanz kleiner als  $\alpha/2$

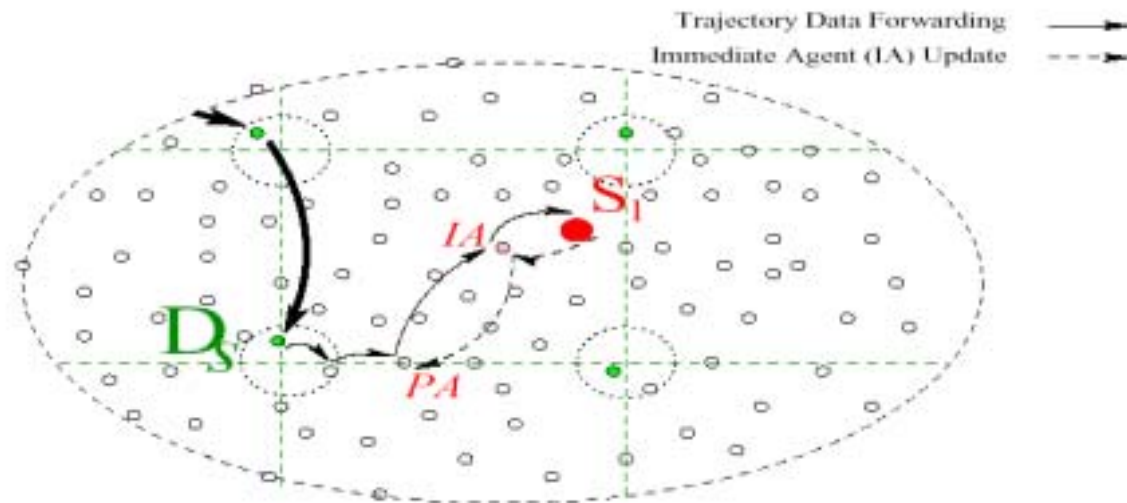
# TTDD

## ■ Datenverbreitung



# TTDD

- Tier-1: Trajectory Forwarding
  - Mobilität der Senke für Gitter transparent
  - Primary Agent (*PA*) repräsentiert Senke für Gitter
  - Immediate Agent (*IA*) repräsentiert Senke für *PA*





# TTDD

---

- Vorteile
  - Aggregation von Anfragen in Gitterknoten
  - Lokal beschränktes Flooding
  - Gut bei mobilen Senken
- Nachteile
  - Hoher Energieverbrauch in Gitterknoten
  - Skaliert schlecht bei vielen Quellen



# Übersicht

---

- Motivation & Ziele
- Protokolle
  - SPIN
  - Directed Diffusion
  - LEACH
  - TTDD
- Zusammenfassung & Fazit







# Zusammenfassung

	Mobilität		Verbreitung	
	Quellen	Senken	Anfragen	Daten
SPIN	✓	✓	-	Broadcast
Directed Diffusion	x	x	Multi-/ Broadcast	Uni-/ Multicast
LEACH	x	x	-	Unicast
TTDD	x	✓	Broadcast (lokal)	Unicast



# Fazit

---

- Es gibt kein „bestes“ Protokoll
  - Die Protokolle beruhen auf unterschiedlichen Annahmen
  - Es gibt keine vergleichenden Messungen



# Quellen

---

- Kulik, Heinzelman, Balakrishnan, "Negotiation-based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks", *Wireless Networks*, Vol. 8, 2002, pp. 169-185
- Intanagonwiwat, Govindan, Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks", *Proc. ACM MobiCom '00*, Boston, August 2000
- Heinzelman, Chandrakasan, Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", *Proc. HICSS '00*, January 2000
- Ye, Luo, Cheng, Lu, Zhang, "A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks", *Proc ACM/IEEE MobiCom '02*, Atlanta, September 2002