

Verteilte Künstliche Intelligenz – Verteile Problemlösung und Planung II

VAK 03-710.03
Universität Bremen

Ingo J. Timm, Jörn Witte



Gliederung

- Das Model for Cooperation von Wooldridge
- Beschränkungen of STRIPS-ähnlichen Modellen
- Partial Global Planning nach Durfee



Historische Entwicklung von CDPS

- Früher ist man davon ausgegangen (cooperative problem solving), dass
 - die Agenten benevolent sind,
 - die Agenten implizit ein gemeinsames Ziel teilen und
 - kein Konfliktpotential zwischen den Agenten besteht.
- Daher wurden Systeme entwickelt, in denen
 - Agenten nach Möglichkeit immer kooperiert haben,
 - auch wenn sie dabei „Schaden“ nehmen (vgl. Individual Rationality)
- Heute geht man vermehrt davon aus (distributed problem solving), dass
 - Multiagentensysteme eine Gesellschaft von „Self-Interested“ Agenten sind,
 - nicht angenommen werden kann, dass diese gemeinsame Ziele teilen und
 - eine Kooperation bzw. Koordination ausgehandelt werden muss.



Die Sichtweise von den Agenten aus

- Model for Cooperation [Wooldridge 2000]
 - Recognition
Ein Agent erkennt, dass es die Notwendigkeit oder die Möglichkeit zur Kooperation gibt – Repräsentationsproblem!
 - Team formation
Im System werden die möglichen Akteure identifiziert und es werden Vereinbarungen zur Lösung getroffen – Koordinationsproblem!
 - Plan formation
Verhandlung über einen „joint plan“ – Planungsproblem!
 - Team action
Koordinierte Durchführung des Plans – Koordinationsproblem!



Recognition

- Potential für Kooperation, mit desire φ des Agenten i
 - es gibt eine Gruppe g , so dass i überzeugt ist, g kann gemeinschaftlich φ erreichen
 - i kann alleine φ nicht erreichen, oder
 - i ist der Überzeugung, dass für jede Aktion α , die i anwenden könnte, um φ zu erreichen, i ein desire hat, die Aktion α nicht zu nutzen
- Potential for Cooperation

$$\begin{aligned} (PfC\ i\ \varphi) \equiv & (Des\ i\ \varphi) \wedge \\ & (Bel\ i\ \neg\varphi) \wedge \\ & \exists g \cdot (Bel\ i\ (J - Can\ g\ \varphi)) \wedge \\ & \left[\begin{array}{l} (Can't\ i\ \varphi) \vee \\ (Bel\ i\ \forall \alpha \cdot (Agt\ i\ \alpha) \wedge (Achvs\ \alpha\ \varphi) \Rightarrow (Int\ i\ (Doens't\ \alpha))) \end{array} \right] \end{aligned}$$



Team Formation

- Die Umsetzung im Agentensystem erfolgt durch
 - Der Agent i sendet ein *request* an die Gruppe g , mit der Bitte φ durchzuführen
 - Der Agent i sendet ein *inform* an die Gruppe g , um ihr mitzuteilen, dass diese in der Lage ist, φ zu erreichen
 - ! Implizite Annahme von Wooldridge hierbei ist, dass die Agenten ihre Ziele wahrheitsgemäß mitteilen
- Das Commitment (= die Vereinbarung) der Agenten wird durch *PreTeam* wie folgt formuliert
 - Es gibt die gemeinsame Überzeugung von g , dass g gemeinsam φ erreichen kann
 - g hat gemeinsam die Absicht, φ zu erreichen

$$(PreTeam\ g\ \varphi) \equiv (M - Bel\ g\ (J - Can\ g\ \varphi)) \wedge (M - Int\ g\ \varphi)$$



Plan Formation (1/2)

- Es gibt eine gemeinsame Absicht
- Es ist mindestens eine Aktion bekannt, die die Gruppe „näher“ an ihr Ziel bringt
- Es ist möglich, dass mehrere Agenten Aktionen kennen, die die Gruppe durchführen kann (in Hinblick auf die Absicht)
- Es ist daher notwendig, dass sich das Kollektiv auf eine konkrete Aktionssequenz einigt (Negotiation!)
- Eine Verhandlung hat dann stattgefunden, wenn mindestens ein Agent eine Aktionssequenz vorgeschlagen hat (Minimalanforderung!)
- Nutzung der Definition von Versuchen

Plan Formation (2/2)

- Verallgemeinerung der Single-Agent-Attempts auf Gruppen von Agenten

$$\{J - \text{Attempt } i \alpha \varphi \psi\} \equiv \left[\begin{array}{c} (M - \text{Bel } i \neg \varphi) \wedge \\ (A\text{gts } g \alpha) \wedge \\ (M - \text{Des } g (A\text{chvs } \alpha \varphi)) \wedge \\ (M - \text{Int } g (A\text{chvs } \alpha \psi)) \end{array} \right] ?; \alpha$$

- was ist denn nun *M-Des*?
→ Definition analog zu *M-Int* und *M-Bel*



Team Action

- Undokumentiert !
- Abgesprochene Durchführung des Plans.
- Dynamische Umplanung bei veränderten Situation (Intention Reconsideration)
- *More research needed !*



Zusammenfassung: Model of Cooperation [Wooldridge 2000]

- Klar strukturiertes und formales Modell
- Viele implizite Annahmen
(z.B. Wissen über Fähigkeiten anderer Agenten)
- Wenig Berücksichtigung von Dynamik
- KEINE Planung enthalten !



Planning within Agents

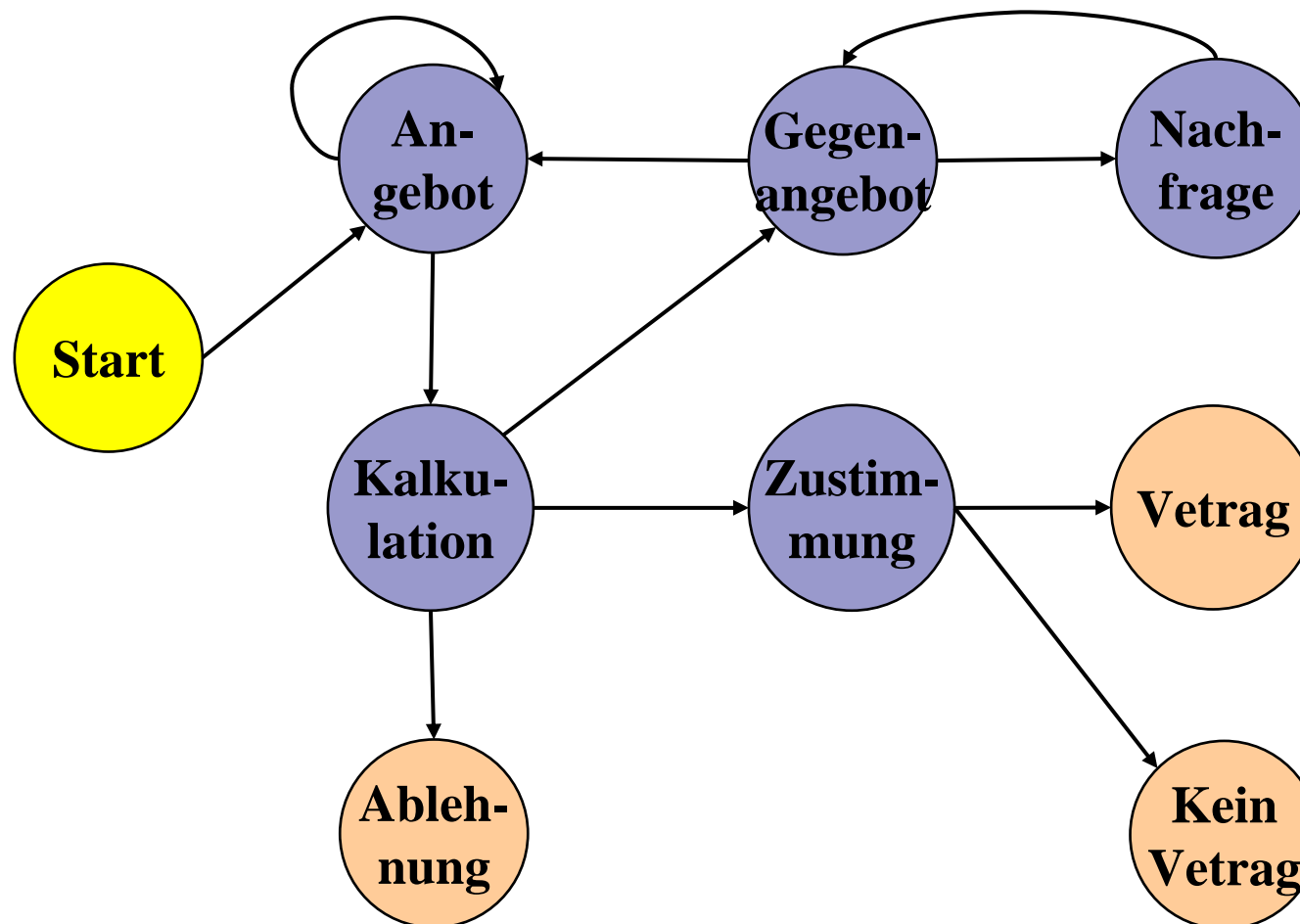
- Two different approaches:
conversations & action execution
- STRIPS-like representation
 - Linear planning
 - Non-linear planning
 - Total plans
 - Partial plans
- Limitations
 - Single operator, all consequences are known, operators are instantaneous action



Planning Approaches

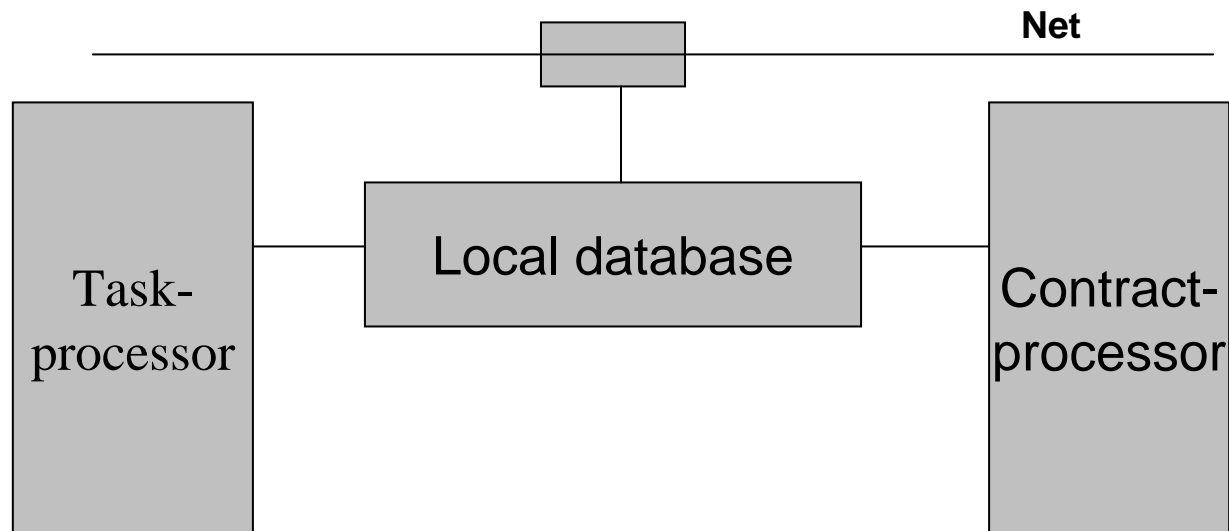
- Influence/reaction models (ECA)
- Process modeling (finite-state automata, Petri-nets)
- Physical displacement (potential field)
- Local modification (cellular automata)
- Command (cybernetics, command theory)
- ...

Automatische Verhandlungssteuerung



Contract-Net Protocol

- Smith 1988, The Contract-Net Protocol
 - Contractor: task announcement (broadcast)
 - Contractee: task evaluation procedures / task bid
 - Contractor: bid evaluation procedure / task award
 - Contractee: contract establish



Distributed Planning

■ Centralized Planning for Distributed Plans

- Centralized coordinator agent generates partial ordered plan
- Decomposition of POP into subplans
- Insertion of synchronisation actions into the subplans
- Allocation of subplans to agents
 - Failure: return to previous step
 - Success: insertion of remaining bindings into subplans (like e.g. binding names of agents)
- Initiation of plan allocation and monitoring process

■ Distributed Planning for Centralized Plans

- Decomposition and distribution of problem among various planning specialists
- Each agent generates a partial plan in parallel
- Sharing and merging of plans to a complete plan in negotiated search mode



Distributed Planning (2)

- Distributed Planning for Distributed Plans

- ☐ Plan Merging
- ☐ Iterative Plan Formation
- ☐ Negotiation in Distributed Planning

- Distributed Plan Representations

- ☐ Speech-act based without specification of content
- ☐ Content Languages for distributed planning (e.g. „STRIPS operator format“)
- ☐ Common assumption: All planning agents use identical representations and identical interpretation
- ☐ More general approach: **ACT** in the Cypress System



Distributed Planning (3)

- Distributed Planning and Execution
 - Post-Planning Coordination
 - Pre-Planning Coordination
 - Interleaved Planning, Coordination, and Execution
 - Runtime Plan Coordination Without Communication

Partial Global Planning: The Details

- Task Decomposition
- Local Plan Formulation
- Local Plan Abstraction
- Communication
- Partial Global Goal Identification
- Partial Global Plan Construction and Modification
- Communication Planning
- Acting on Partial Global Plans
- Ongoing Modification
- Task Reallocation

Partial Global Planning: The Details

■ Task Decomposition

- ☐ Vorbedingung: Aufgaben sind inhärent dekomponiert
- ☐ Agenten sind sich über die Zusammenhänge der Aufgaben unklar
- ☐ Es gibt keinen zentralen Problemlösungsagenten

■ Local Plan Formulation

- ☐ Verständnis entwickeln, welche Ziele der Agent versucht zu erreichen und welche Aktionen dafür womöglich gut sind
- ☐ Pure reaktive Agenten können somit nicht an nutzbringend an PGP partizipieren
- ☐ dadurch dass viele Ziele gleichzeitig verfolgt werden oder Aktionsalternativen bestehen, sind lokale Pläne oft unsicher und beziehen alternative Zweige mit ein

Partial Global Planning: The Details

■ Local Plan Abstraction

- Die Aktionssequenz ist für einen Agenten wichtig, jedoch sind die Details für die Fähigkeit sich mit anderen zu koordinieren nicht so entscheidend
- Zu-/Abstimmung kann auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus erfolgen
- Agenten werden so entworfen, dass sie ihre „major plan steps“ identifizieren können

■ Communication

- Kommunikation über abstrakte lokale Pläne
- Generieren von gemeinsamen Aktivitäten (joint activities)
- Meta-Level Organization !

■ Partial Global Goal Identification*

- Identifikation von Sub-/Super-Zielen
- Schließen auf Ausschnitte des Gesamtziels
- Wird genutzt um Ergebnisse zu synthetisieren



Partial Global Plan Construction and Modification

1. For the current ordering, rate the individual actions and sum the ratings.
2. For each action, examine the later actions for the same agent and find the most highly rated one. If it is higher rated, then swap the actions.
3. If the new ordering is more highly rated than the current one, then replace the current ordering with the new one and go to step 2.
4. Return the current ordering.

Partial Global Planning: The Details

- Partial Global Plan Construction and Modification
 - Lokale Pläne zu einem Partial Global Goal werden in einem PGP zusammengefasst, welcher die nebenläufigen Aktivitäten der Individuen plant.
 - Optimierte Koordination
- Communication Planning*
 - Jeder Agent muss planen, welche Interaktionen mit anderen Agenten stattfinden sollen
 - Kommunikation von Ergebnissen werden ebenso geplant



Communication Planning

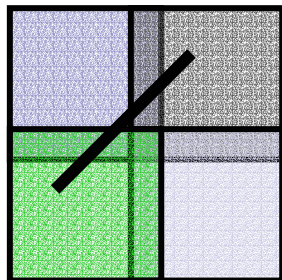
1. Initialize the set of partial task results to integrate.
2. While the set contains more than one element:
 1. for each pair of elements, find the earliest time and agent at which they can be combined
 2. for the pair that can be combined earliest:
 1. add a new element to the set of partial results for the combination and remove the two elements that were combined
3. Return the single element in the set

Partial Global Planning: The Details

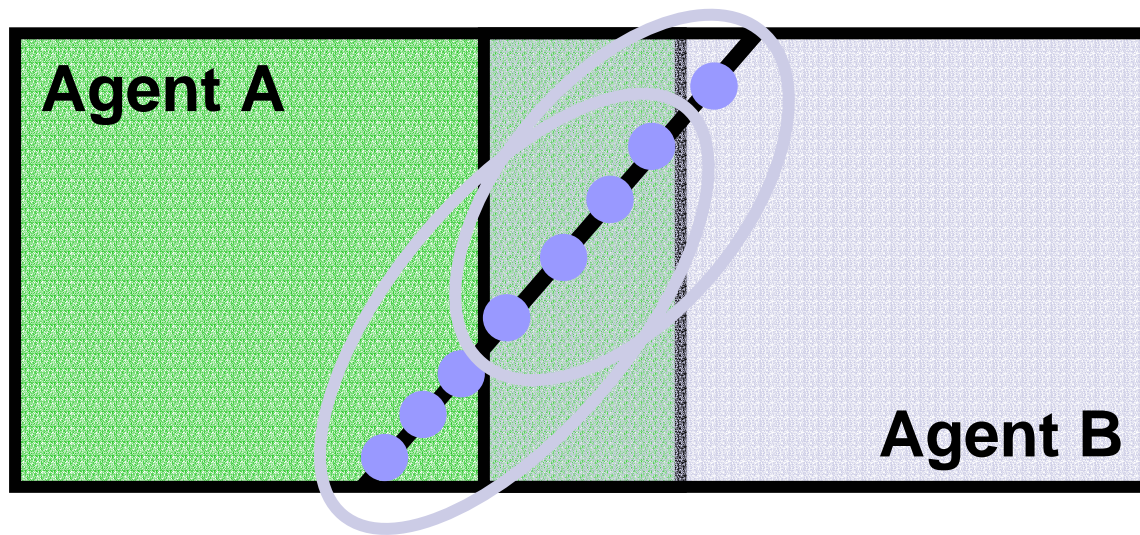
- Acting on Partial Global Plans
 - Nach der Konstruktion von einem PGP und nach der Ordnung der nebenläufigen lokalen Aktivitäten, werden die kollektiven Aktionen geplant
 - Lokale Aktionen werden so ausgeführt, dass ausgehend vom abstrakten lokalen Plan geändert wird und anschließend eine Aktion ausgewählt wird.
- Ongoing Modification
 - Änderungen in der Umgebung können zu Veränderungen in Plänen führen
 - Kleine Änderungen, die nicht die Koordination ändern werden lokal durchgeführt.
 - Herausforderung besteht darin, zu entscheiden, wann eine solche Änderung propagiert werden muss
- Task Reallocation
 - Load-Balancing Mechanismus innerhalb des Planers durch die explizite Verarbeitung von „activity models“

Ein Beispiel

- Scenario: Distributed Vehicle Monitoring
- AI Testbed, mostly used from 1981-1991
 - simulates a network of vehicle monitoring nodes (agents)
 - each node is a problem solver that analyzes acoustically sensed data to identify, locate, and track patterns of vehicles moving through a 2D space
 - each vehicle generates sounds (at particular locations and discrete times), that are described by a grammar in terms of signal groups
 - Signal strength is related to vehicle loudness and velocity



Das Beispiel etwas konkreter



Ziel ist es, dass beide Agenten mit möglichst wenig Sensor,
weiterer Parameter: Agent B hat einen schlechten Sensor,
redundanter Arbeit die Interpretation vornehmen!
so dass die Interpretation der Daten aufwendiger ist.



Wie PGP arbeitet

- Zuerst führt jeder Agent einen schnellen Check durch, welche Informationen (Daten) zur Verfügung stehen, ob es eine individuelle Spur sein könnte und formulieren lokale Ziele (die Spuren zu interpretieren).
- Detaillierte Pläne hierzu sehen vor auf der Basis von unterschiedlichen Frequenzen Komponenten zusammenzuführen und auf den entsprechenden Fahrzeugtyp zu schließen.
- Abstrahiert wird hier jedoch nur versucht, die Reihenfolge der Interpretation von Daten festzulegen (A = 1, 2, 3, ...) (B = 4, 5, ...)
- Austausch dieser abstrakten Informationen führt dazu, dass die Agenten erkennen, dass sie am gleichen Ziel arbeiten (data COULD be part of a global track) → Formulierung eines partiell globalen Ziels



Wie PGP arbeitet ...

- Hill-Climbing für die Suche nach Alternativen, die die Reihenfolge besser berücksichtigen. Lösung für das Problem: Agent A startet mit Punkt 5 ...
- Agenten planen ihre Interaktion, z.B. Agent A wird Ergebnisse unmittelbar an Agenten B übermitteln
- Agent B führt die Teilergebnisse dann zusammen
- ...
- (replanning)