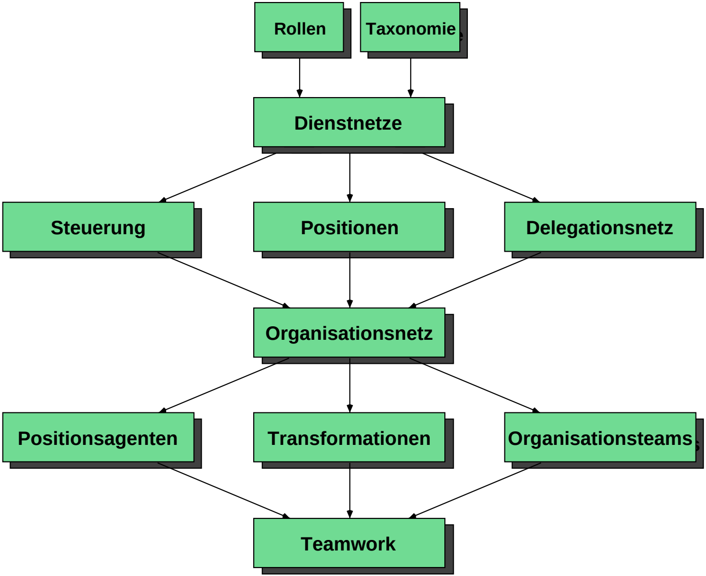
Modellierung und Petrinetze

Reflexive Selbstorganisation in Multiagentensystemen

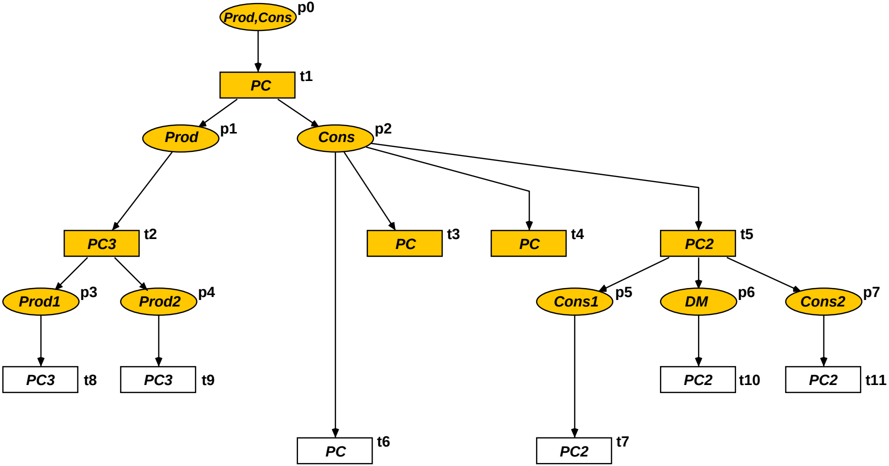
Michael Köhler

Department für Informatik
Universität Hamburg

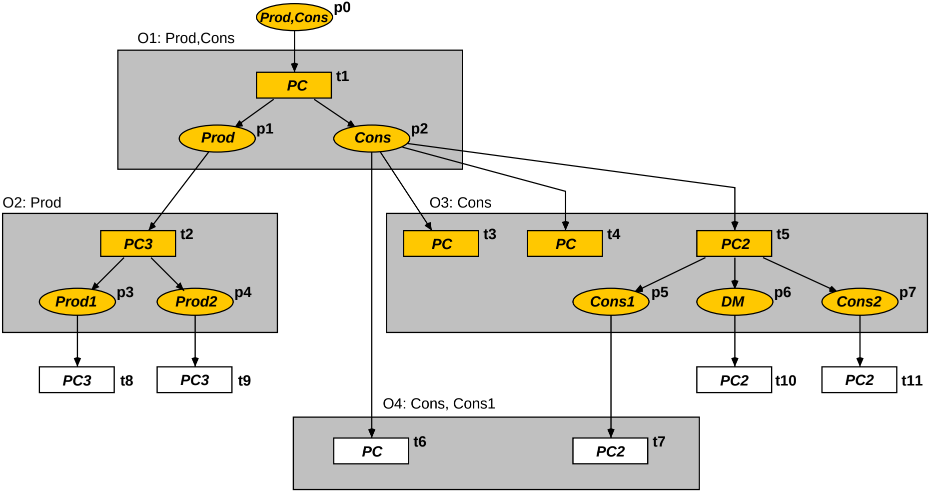
24. Januar 2008


Rollen
Taxonomie
Dienstnetze
Steuerung
Positionen
Delegationsnetz
Organisationsnetz
Positionsagenten
Transformationen
Organisationsteams
Teamwork

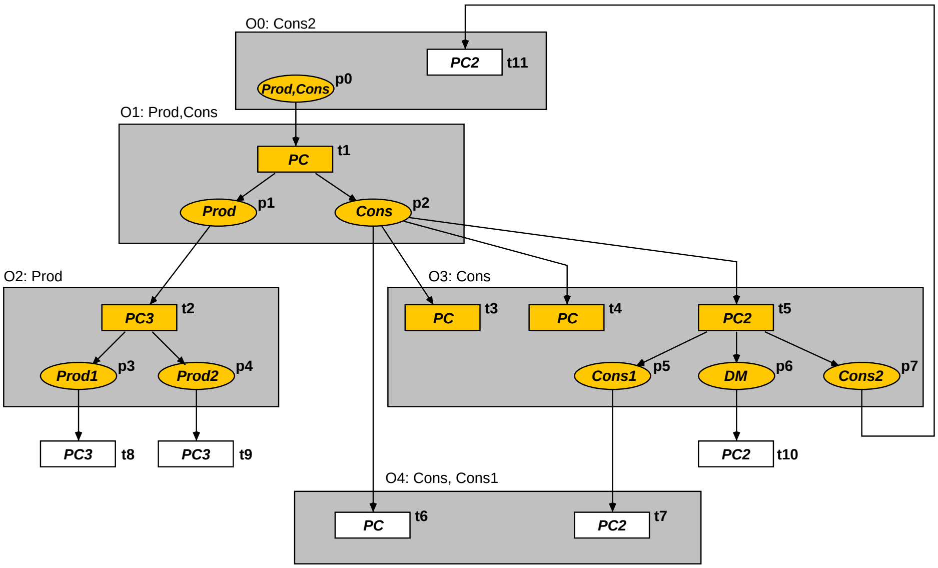
Delegation und Organisation



Delegation und Organisation



Delegation und Organisation



Organisationsnetze

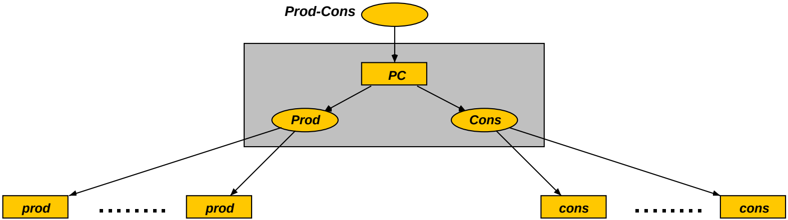
Definition

Sei $N = (P, T, F)$ ein P/T-Netz. Eine Partionierung $\mathcal{O}$ auf der Knotenmenge $P \cup T$ ist eine *Organisationsstruktur*, wenn folgende Zusammenhangsbedingung erfüllt ist:

$$\begin{array}{lllll} \forall O \in \mathcal{O} : & (\forall p \in O \cap P : & {}^\bullet p \subseteq O & \wedge & p^\bullet \subseteq \bar{O}) \wedge \\ & (\forall t \in O \cap T : & {}^\bullet t \subseteq \bar{O} & \wedge & t^\bullet \subseteq O) \end{array}$$

Ein Element $O \in \mathcal{O}$ heißt *Position* der Organisation.
Organisation: $Org = (N, \mathcal{O}, R, D)$,
Koordinierende Organisation: (Org, ψ)

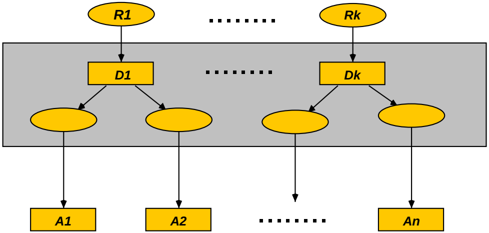
Beispiel: Der Markt



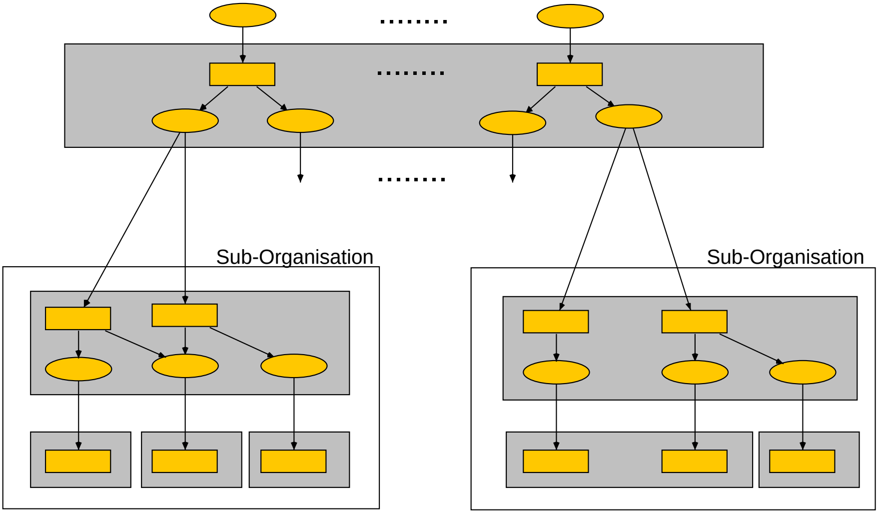
Beachte: Nach der Organisation kennen sich Produzenten und Konsumenten nicht!

Sie kennen sich aber stets in konkreten Teams.

Beispiel: Die Koalition



Beispiel: Die virtuelle Organisation



Existenz

Lemma

Jedes schleifenfreie Netz besitzt eine Organisationsstruktur.

Dazu definieren wir jede Transition zusammen mit ihrem Nachbereich als eine Position:

$$\mathcal{O} = \{ (\{t\} \cup t^\bullet) \mid t \in T \}$$

Positionstypen

- Eine Position $O \in \mathcal{O}$ mit $O \subseteq P$ heißt *initial*, denn diese Position startet eine Tätigkeit, ohne dass eine andere Positionen auf sie zurückgriffe.
- Eine Position $O \in \mathcal{O}$ mit $O \subseteq T$ heißt *terminal*, denn diese Position greift auf keine anderen Positionen zurück.
- Eine Position $O \in \mathcal{O}$ mit $O \subseteq P$ oder $O \subseteq T$ heißt *elementare* Position.
- Eine Position $O \in \mathcal{O}$ mit $O \cap P \neq \emptyset$ und $O \cap T \neq \emptyset$ modelliert dagegen eine *komplexe* Position, die auf andere Positionen zurückgreift.

Initialisierung und Termination

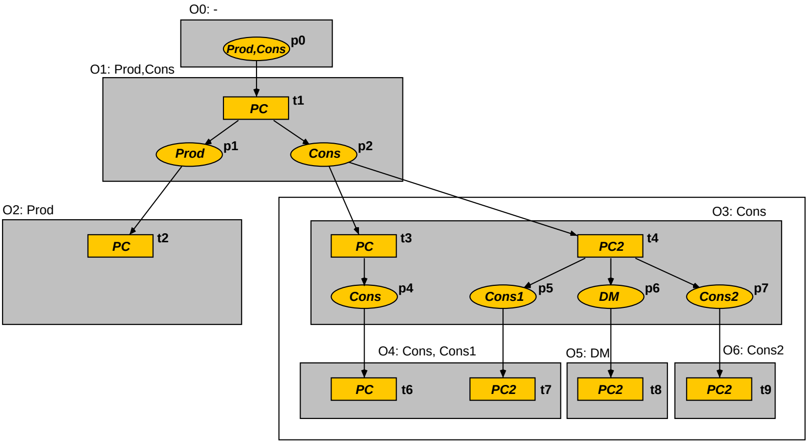
Theorem

Sei $\mathcal{O}$ eine Organisationsstruktur.

- *Jede Position $O \in \mathcal{O}$, die keine Tätigkeiten besitzt, wird von keiner Position genutzt:* $\forall O \in \mathcal{O} : O \subseteq P \implies {}^\bullet O = \emptyset$.
- *Jede Position $O \in \mathcal{O}$, die keine Rollenprofile enthält, kann keine anderen Position nutzen:* $\forall O \in \mathcal{O} : O \subseteq T \implies O^\bullet = \emptyset$.

Sei $O \subseteq P$ und $O \in \mathcal{O}$. Aus der Definition folgt für alle $p \in O \cap P$, dass ${}^\bullet p \subseteq O$ gelten muss. Da aber stets ${}^\bullet p \subseteq T$ gilt, folgt daher ${}^\bullet p = \emptyset$. Analog für $O \subseteq T$.

Vergröberung/Verfeinerung



Semi-abgeschlossene Organisationen

Definition

Sei $Org = (N, \mathcal{O}, R, D)$ eine Organisation. Die Position-Menge $\mathcal{Q} \subseteq \mathcal{O}$ heißt *semi-abgeschlossen*, falls mit $P_\mathcal{Q} := P \cap \bigcup \mathcal{Q}$ und $T_\mathcal{Q} := T \cap \bigcup \mathcal{Q}$ gilt:

1. Alle Rollenprofile werden nur lokal genutzt: $|P_\mathcal{Q}{}^\bullet \setminus \bigcup \mathcal{Q}| = 0$
2. Die Tätigkeiten am Rand werden exklusiv genutzt: $|{}^\bullet T_\mathcal{Q} \setminus \bigcup \mathcal{Q}| = 1$

Suborganisation

Sei $\mathcal{Q} \subseteq \mathcal{O}$ semi-abgeschlossen, dann ist die *Suborganisation* von *Org* bezüglich $\mathcal{Q}$ folgendermaßen definiert:

$$Org_{\downarrow\mathcal{Q}} = (N_{\downarrow\mathcal{Q}}, \mathcal{O}_{\downarrow\mathcal{Q}}, R_{\downarrow\mathcal{Q}}, D_{\downarrow\mathcal{Q}})$$

mit $N_{\downarrow\mathcal{Q}} = (P_{\downarrow\mathcal{Q}}, T_{\downarrow\mathcal{Q}}, F_{\downarrow\mathcal{Q}})$ und:

$$\begin{aligned}
P_{\downarrow\mathcal{Q}} &= P_{\mathcal{Q}} \cup {}^{\bullet}T_{\mathcal{Q}} \\
T_{\downarrow\mathcal{Q}} &= T_{\mathcal{Q}} \\
F_{\downarrow\mathcal{Q}} &= \Big(F \cap ((T_{\downarrow\mathcal{Q}} \times P_{\downarrow\mathcal{Q}}) \cup (P_{\downarrow\mathcal{Q}} \times T_{\downarrow\mathcal{Q}}))\Big) \\
\mathcal{O}_{\downarrow\mathcal{Q}} &= \mathcal{Q} \cup \left\{ {}^{\bullet}T_{\mathcal{Q}} \setminus \bigcup \mathcal{Q} \right\} \\
R_{\downarrow\mathcal{Q}} &= R|_{P_{\downarrow\mathcal{Q}}} \\
D_{\downarrow\mathcal{Q}} &= D|_{T_{\downarrow\mathcal{Q}}}
\end{aligned}$$

Vergröberung

Sei $\mathcal{Q} \subseteq \mathcal{O}$ semi-abgeschlossen, dann ist die *Vergröberung* von *Org* bezüglich $\mathcal{Q}$ die Organisation

$$Org_{/\mathcal{Q}} = (N_{/\mathcal{Q}}, \mathcal{O}_{/\mathcal{Q}}, R_{/\mathcal{Q}}, D_{/\mathcal{Q}})$$

mit $N_{/\mathcal{Q}} = (P_{/\mathcal{Q}}, T_{/\mathcal{Q}}, F_{/\mathcal{Q}})$ und:

$$\begin{aligned}
P_{/\mathcal{Q}} &= P \setminus \bigcup \mathcal{Q} \\
T_{/\mathcal{Q}} &= \left(T \setminus \bigcup \mathcal{Q}\right) \uplus \{t_\mathcal{Q}\} \\
F_{/\mathcal{Q}} &= \left(F \cap ((T_{/\mathcal{Q}} \times P_{/\mathcal{Q}}) \cup (P_{/\mathcal{Q}} \times T_{/\mathcal{Q}}))\right) \cup \left(({}^\bullet T_\mathcal{Q} \setminus \bigcup \mathcal{Q}) \times \{t_\mathcal{Q}\}\right) \\
\mathcal{O}_{/\mathcal{Q}} &= (\mathcal{O} \setminus \mathcal{Q}) \cup \{O_\mathcal{Q}\} \quad \text{mit} \quad O_\mathcal{Q} = \{t_\mathcal{Q}\} \\
R_{/\mathcal{Q}} &= R|_{P_{/\mathcal{Q}}} \\
D_{/\mathcal{Q}} &= D|_{T_{/\mathcal{Q}}} \cup \{(t_\mathcal{Q}, D^\mathcal{D}(R(p(t_\mathcal{Q}))))\}
\end{aligned}$$

Wenn $Org_{/\mathcal{Q}}$ eine Vergröberung von *Org*, dann nennen wir *Org* eine *Verfeinerung* von $Org_{/\mathcal{Q}}$ durch $\mathcal{Q}$.

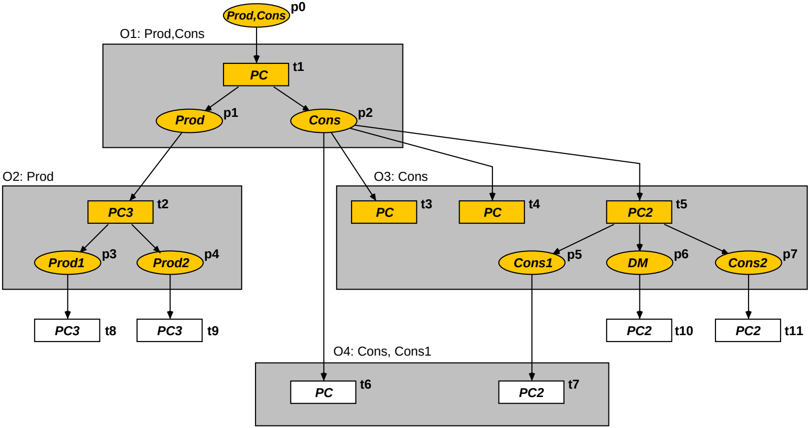
Bearbeitbarkeit in der Vergröberung/-feinerung

Theorem

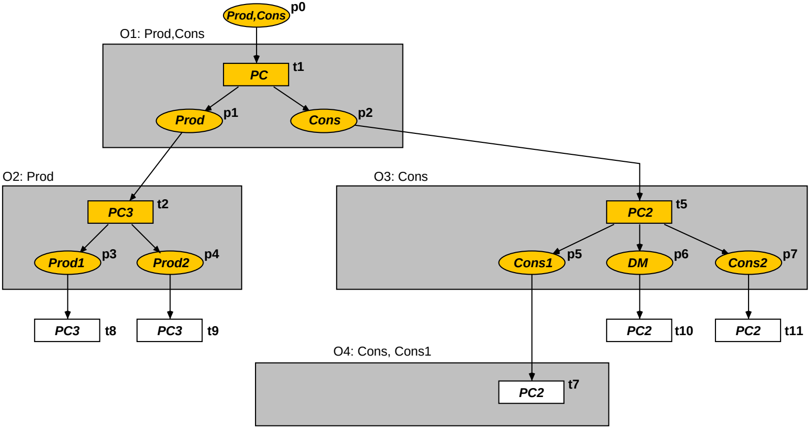
Wenn Org $= (N, \mathcal{O}, R, D)$ *eine Organisation und* $\mathcal{Q} \subseteq \mathcal{O}$ *eine semi-abgeschlosse Positionsmenge ist, dann ist die Vergröberung* $Org_{/\mathcal{Q}}$ *und die Suborganisation* $Org_{\downarrow\mathcal{Q}}$ *genau dann sicher bearbeitbar, wenn es Org ist.*

Beweis: siehe Skript.

Organisationsprozesse



Organisationsprozesse



Organisationsprozesse und Teams I

Jeder Prozess der Organisation erzeugt ein koordiniertes Team.

Theorem

Sei $Org = (N, \mathcal{O}, R, D)$ *eine Organisation und* $R \in \mathcal{R}$ *eine Rolle. Dann generiert jeder Prozess* $(K, \phi) \in \mathcal{K}^{pg}(N, \{p\})$ *zu einem* $p \in P_{Org}(R)$ *das R/D-Netz:*

$$G_{Org}(K, \phi) := (K, (R \circ \phi), (D \circ \phi))$$

Sei (Org, ψ) *eine koordinierende Organisation und* $R \in \mathcal{R}$ *eine Rolle. Für jedes* $p \in P_{Org}(R)$ *erzeugt jeder Prozess* $(K, \phi) \in \mathcal{K}^{pg}(N, \{p\})$ *des Organisationsnetzes das koordinierende Team:*

$$G_{(Org,\psi)}(K, \phi) := (K, (R \circ \phi), (D \circ \phi), (\psi \circ \phi_{|E}))$$

Organisationsprozesse und Teams II

Die Abbildung $(R \circ \phi)$ und $(D \circ \phi)$ sind offensichtlich Rollen- und Dienstzuweisungen. Damit ist $(K, (R \circ \phi), (D \circ \phi))$ ein ein R/D-Netz. Außerdem stellt $\psi \circ \phi_{|E}$ eine Steuerung dar.

Offensichtlich ist K ein Kausalnetz. Es besitzt genau einen Platz als minimalen Knoten besitzt, da der Prozess zu $(N, \{p\})$ generiert wurde. Nach Theorem **??** gilt zudem $K^\circ \subseteq E$. Damit ist $(K, (R \circ \phi), (D \circ \phi), (\psi \circ \phi_{|E}))$ ein Teamnetz.

Menge aller Organisationsprozesse

Theorem

Sei Org eine wohlgeformte Organisation, dann ist die Menge aller Prozesse

$$\mathcal{K}^{pg}(Org) := \bigcup_{p \in P} \mathcal{K}^{pg}(N, \{p\})$$

eine endliche, konstruktive Menge.

Dies folgt aus der Tatsache, dass jedes Prozessnetz (K, ϕ), die folgende Eigenschaft besitzt:

$$(\phi(b_1) = \phi(b_2)) \Longrightarrow (b_1 = b_2)$$

Denn wenn $\phi(b_1) = \phi(b_2)$ für zwei Stellen b_1 und b_2 wäre, dann wäre $R(\phi(b_1)) = R(\phi(b_2))$ in dem Teamnetz $G_{Org}(K, \phi)$ und nach Theorem **??** folgt dann $b_1 = b_2$.

Im jedem Prozess besitzt jede Stelle somit höchstens ein Urbild. Die Menge aller Prozesse, mit dieser Eigenschaft ist offensichtlich endlich und auch konstruktiv.

Organisationen als Teamerzeuger

Jede Organisation ist somit ein Erzeuger einer Menge von Teamnetzen:

$$\mathcal{G}(Org) := \{G_{Org}(K,\phi) \mid (K,\phi) \in \mathcal{K}^{pg}(Org)\} \tag{1}$$

Definition

Das zur Teammenge $\mathcal{G}$ gebildete Multiagentensystem $(\mathcal{A}_\mu, \mu)$ heißt *organisiert*, wenn es eine wohlgeformte Organisation *Org* gibt, so dass gilt:

$$\mathcal{G} = \mathcal{G}_{akz}(\mathcal{A}_\mu, \mu) = \mathcal{G}(Org)$$

Wohlgeformte Steuerung

(K, ϕ) kann die Steuerung *realisieren*, wenn es für jedes Ereignis e möglich ist, einen Prozess π des Dienstes $D(e)$ zu finden, der die globale Steuerung $\hat{\psi}_K(e)$ erfüllt:

$$(K, \phi) \models \hat{\psi}_K :\iff \forall e \in E_K : \exists \pi \in Proc(D(e)[R(b(e))]) : \pi \models \hat{\psi}_K(e) \tag{2}$$

Definition

Eine Steuerung ψ heißt *wohlgeformt*, wenn für alle Organisationsprozesse mindestens ein Dienstprozess existiert, der die globale Steuerung $\hat{\psi}$ erfüllt:

$$\forall R \in \mathcal{R} : \forall p \in P_{Org}(R) : \forall (K, \phi) \in \mathcal{K}^{pg}(N, \{p\}) : (K, \phi) \models \hat{\psi}_K$$

Eine koordinierende Organisation (Org, ψ) heißt *wohlgeformt*, wenn *Org* und ψ wohlgeformt sind.

Theorem

Ist die Organisation Org $= (N, \mathcal{O}, R, D)$ *wohlgeformt, so ist für alle Prozesse* $(K, \phi) \in \mathcal{K}^{pg}(N, m)$ *auch* $G_{Org}(K, \phi)$ *ein wohlgeformtes R/D-Netz.*
Ist die koordinierende Organisation (Org, ψ) *wohlgeformt, dann ist für alle Prozesse* $(K, \phi) \in \mathcal{K}^{pg}(N, m)$ *auch* $G_{(Org,\psi)}(K, \phi)$ *ein wohlgeformtes koordinierendes Team.*

Da *Org* wohlgeformt ist und Wohlgeformtheit eine Eigenschaft ist, die sich nur auf die Lokalität bezieht, gilt sie auch in den Entfaltungen von N, d.h. für alle Prozesse $(K, \phi) \in \mathcal{K}^{pg}(N, m)$.

Da (Org, ψ) wohlgeformt ist, gilt $(K, \phi) \models \hat{\psi}_K(e)$ für alle $R \in \mathcal{R}$, $p \in P_{Org}(R)$ und $(K, \phi) \in \mathcal{K}^{pg}(N, \{p\})$.

Dabei gilt $(K, \phi) \models \hat{\psi}_K(e)$ nach (2) genau dann, wenn für alle $e \in E_K$ ein Prozess π mit $\pi \models \hat{\psi}_K(e)$ existiert, d.h. das erzeugte Team $G_{(Org,\psi)}(K, \phi) = (K, (R \circ \phi), (D \circ \phi), (\psi \circ \phi_{|E}))$ ist wohlgeformt.

Maximale Steuerung I

Hinreichende Charakterisierung: Die maximal strenge Steuerung der Organisation (Org, ψ) ist definiert als

$$\xi_{Org}^{\max} := \bigwedge_{t \in T_N} \hat{\psi}(t) \tag{3}$$

Offensichtlich gilt für die maximal strenge Steuerung:

$$\forall t \in T_N : \xi_{Org}^{\max} \Longrightarrow \hat{\psi}(t) \Longrightarrow \psi(t)$$

Theorem

Sei $Org = (N, \mathcal{O}, R, D, \psi)$ eine wohlgeformte, koordinierende Organisation. Existiert zu jedem $t \in T_N$ ein $\pi \in Proc(D(t), \xi_{Org}^{\max})$, dann ist (Org, ψ) wohlgeformt.

Maximale Steuerung II

Zu jedem $t \in T_N$ existiert nach Vorraussetzung mindestens ein Dienstprozess π_t mit $\pi \models \xi_{Org}^{max}$, was $\pi \models \hat{\psi}(t)$ impliziert, da $\xi_{Org}^{max} \Longrightarrow \hat{\psi}(t)$ gilt.

π_t erfüllt die Wohlgeformtheitsbedingung: Sei $(K, \phi) \in \mathcal{K}^{pg}(N, \{p\})$ ein Prozess zu beliebigen $R \in \mathcal{R}$ und $p \in P_{Org}(R)$, dann gilt für alle $e \in E_K$:

$$\begin{aligned}
\hat{\psi}_K(e) &= \bigwedge_{(e',e)\in F_K^*} \psi_K(e') \\
&= \bigwedge_{(e',e)\in F_K^*} (\psi \circ \phi_{|E})(e') \\
&= \bigwedge_{(e',e)\in F_K^*} \psi(\phi_{|E}(e')) \\
&= \bigwedge_{(e',e)\in F_K^*, \phi(e')=t'} \psi(t') \\
&= \bigwedge_{t'\in T_e} \psi(t')
\end{aligned}$$

Definiere $T_e := \phi^{-1}(\_F_K^* e) = \{t \in T \mid \exists e' \in E_K : (e', e) \in F_K^*, \phi(e') = t\}$. Aus $T_e \subseteq T$ folgt:

$$\xi_{Org}^{max} = \bigwedge_{t\in T_N} \psi(t) \Longrightarrow \bigwedge_{t\in T_e} \psi(t) = \hat{\psi}_K(e)$$

Also gilt auch $\pi_{\phi(e)} \models \hat{\psi}_K(e)$ für alle Ereignisse $e \in E_K$ aller Prozesse (K, ϕ), d.h. die Wohlgeformtheitsbedingung ist erfüllt.

Konstruktivität der Steuerung

Zu jedem t gibt es verschiedene Markierungen und Prozesse, in denen t vorkommt. Die Menge aller globalen Steuerungen ist dann:

$$\Xi_{Org}(t) := \{\hat{\psi}_K(e) \mid p \in P, (K, \phi) \in \mathcal{K}^{pg}(N, \{p\}), e \in E_K, \phi(e) = t\}$$

Damit ist Wohlgeformtheit konstruktiv entscheidbar.

Theorem

Sei $Org = (N, \mathcal{O}, R, D, \psi)$ eine wohlgeformte, koordinierende Organisation.

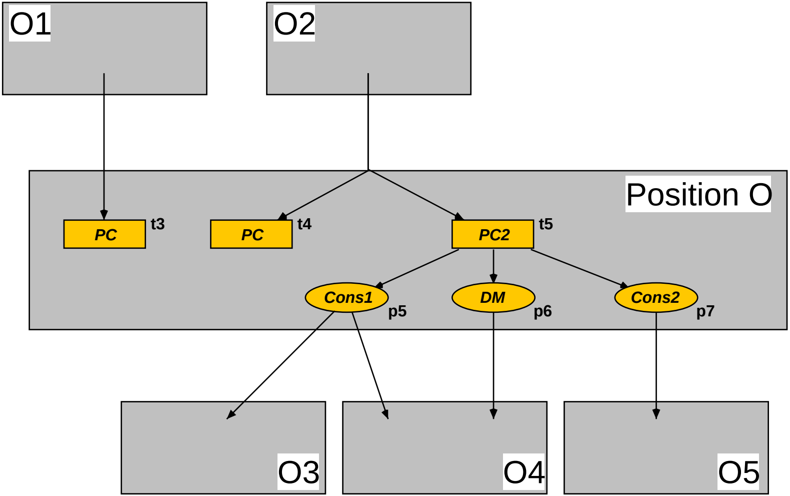
1. *Genau dann wenn zu jedem $t \in T_N$ und zu jedem $\xi \in \Xi_{Org}(t)$ ein Prozess $\pi \in Proc(D(t), \xi)$ existiert, dann ist Org wohlgeformt.*
2. *Für alle $t \in T$ eines Organisationsnetzes ist $\Xi_{Org}(t)$ ist eine endliche, konstruktive Menge.*

Die erste Eigenschaft folgt direkt aus Definition 9. Dass $\Xi_{Org}(t)$ eine endliche Menge ist, folgt aus der Tatsache, dass $\mathcal{K}^{pg}(Org)$ dies ist.

Anpassung der Steuerung

- Kann nicht sichgestellt werden, dass jeder Prozess korrekt ist, so sind entweder einige – oder alle – Regeln $\psi(t)$ zu verschärfen oder es muss verhindert werden, dass dieses Team gewählt werden kann
- Eine koordinierende Organisation darf nur korrekte Prozesse zulassen.
- Natürlich kann man Wohlgeformtheit leicht erreichen, wenn man bereits alle proaktiven Transitionen auf korrekte Prozesse einschränkt.
- Dabei wird jedoch im allgemeinen das mögliche Verhalten der nachfolgenden Positionen sehr stark eingeschränkt, was deren Flexibilität einschränkt.
- Hier ist also ein Ausgleich zwischen Wohlgeformtheit und Flexibilität zu erzielen.

Lokale Perspektive einer Position



Organisationspositionen als Agenten

- Als Rollenprofil einer Position $O \in \mathcal{O}$ bezeichnen wir die Menge der Rollen, die die Position anderen gegenüber bereitstellt:

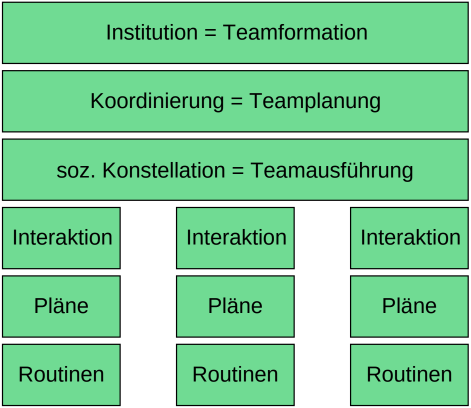
$$R(O) := R({}^\bullet(O \cap T) \setminus O) \tag{4}$$

- Der Organisationseinheit $O \in \mathcal{O}$ wird ein Agent $Ag(O)$ zugewiesen. Diese Agenten nennen wir *Positionsagenten*.
- Der der Position O zugeordnete Positionsagent ist ein Agent, der das Rollenprofil $R(O)$ einnimmt, angesehen werden.
- Um das Rollenprofil wahrnehmen zu können, stehen der Position die ihr zugewiesenen Dienste zur Vefügung:

$$D(O \cap T) = \{D(t) \mid t \in (O \cap T)\}$$

- Man beachte, dass der Dienst, der bei der Auswahl der Tätigkeit t ausführt wird, nur in der Einschränkung $D(t)[R(t^\bullet)]$ genutzt wird.

Dualität der Organisationspositionen



MAS-Organisationen

Definition

Eine *MAS-Organisation* (Org, Ag) besteht aus

1. einer koordinierten Organisation $Org = (N, \mathcal{O}, R, D, \psi)$ und
2. einer Injektion $Ag : \mathcal{O} \to \mathcal{S}$, die jeder Position einen Positionsagenten zuweist.

Sei (Org, Ag) eine MAS-Organisation, dann bezeichnet

$$\mu(Org, Ag) := (\{A_O \mid O \in \mathcal{O}\}, Ag)$$

das von ihm generierte SONAR-*MAS*.

Delegation in MAS-Organisationen

Für jede Stelle $p \in P$ des Organisationsnetzes bezeichnet $\mathcal{O}_{dlg}(p)$ die Menge aller Positionen und $\mathcal{A}_{dlg}(p)$ die Menge aller Agenten, an die die Bearbeitung delegiert werden kann:

$$\begin{array}{lcl} \mathcal{O}_{dlg}(p) & := & O(p^\bullet) & = & \{O(t) \mid t \in p^\bullet\} \\ \mathcal{A}_{dlg}(p) & := & Ag(\mathcal{O}_{dlg}(p)) & = & \{Ag(O(t)) \mid t \in p^\bullet\} \end{array} \qquad (5)$$

Für jede Transition $t \in T$ des Organisationsnetzes bezeichnet $\mathcal{O}_{gen}(t)$ die Menge aller Positionen und $\mathcal{A}_{gen}(t)$ die Menge aller Agenten, die Aufträge für t generieren können:

$$\begin{array}{lcl} \mathcal{O}_{gen}(t) & := & O({}^\bullet t) & = & \{O(p) \mid p \in {}^\bullet t\} \\ \mathcal{A}_{gen}(t) & := & Ag(\mathcal{O}_{gen}(t)) & = & \{Ag(O(p)) \mid p \in {}^\bullet t\} \end{array} \qquad (6)$$

Organisationsteams

Theorem

Sei Org $= (N, \mathcal{O}, R, D, \psi)$ *eine koordinierende Organisation und* $R \in \mathcal{R}$ *eine Rolle. Dann generiert jeder Prozess* $(K, \phi) \in \mathcal{K}^{pg}(N, \{p\})$ *zu einem* $p \in P_{Org}(R)$ *die Gruppe:*

$$G(K, \phi) := (K, (R \circ \phi), (D \circ \phi), \psi \circ \phi_{|E}, (Ag \circ O \circ \phi))$$

Wir wissen bereits aus Theorem 6, dass $(K, (R \circ \phi), (D \circ \phi), (\psi \circ \phi_{|E}))$ ein Teamnetz ist.

Nach Definition **??** muss für die Besetzung A eines Gruppennetzes $A(p) = A(t)$ für alle $p \in t^\bullet$ gelten. Wie bereits dargelegt ist zudem durch $A = (Ag \circ O \circ \phi)$ eine Besetzung definiert, die zur Organisationsstruktur passt, denn in einer Position O gilt nach Definition $t \in O \Longrightarrow t^\bullet \subseteq O$.

Prozessentfaltung

function $K(N, p)$ is

$(K, \phi) := ((\{b_0\}, \emptyset, \emptyset), \{(b_0, p)\})$

while $\exists t \in T : \exists B_t \subseteq K^\circ : \phi(B_t) = {}^\bullet t$ do

$(K, \phi) := ((B', E', F'), \phi')$ where

$$B'_t = \{b_p \mid p \in t^\bullet\}$$
$$B' = B_K \uplus B'_t$$
$$E' = E_K \uplus \{e\}$$
$$F' = F_K \cup (B_t \times \{e\}) \cup (\{e\} \times B'_t)$$
$$\phi' = \phi \cup \{(e, t)\} \cup \{(b_p, p) \mid p \in t^\bullet\}$$

endwhile

return (K, ϕ)

end

Nichtdeterministischer Teambildungsalgorithmus

function $K(N,p)$ is
  $(K,\phi) := ((\{b_0\},\emptyset,\emptyset),\{(b_0,p)\})$
  while $(K^\circ \cap B) \neq \emptyset$ do
    for each $b \in (K^\circ \cap B)$ do
      $(K,\phi) := ((B',E',F'),\phi')$ where
        $A^b \in \mathcal{A}_{dlg}(\phi(b))$
        $t \in (\phi(b)^\bullet \cap Ag^{-1}(A^b))$
        $B'_t = \{b_p \mid p \in t^\bullet\}$
        $B' = B_K \uplus B'_t$
        $E' = E_K \uplus \{e\}$
        $F' = F_K \cup \{(b,e)\} \cup (\{e\} \times B'_t)$
        $\phi' = \phi \cup \{(e,t)\} \cup \{(b_p,p) \mid p \in t^\bullet\}$
  endwhile
  return (K,ϕ)
end

Organisationssicht der Teamformation I

Theorem

Sei Org $= (N, \mathcal{O}, R, D)$ *eine wohlgeformte Organisation.*

1. *Ist die Markierung* $\{p\}$ *in* N *sicher bearbeitbar, dann hat der Algorithmus die Option zu terminieren.*
2. *Ist* N *sicher bearbeitbar, dann hat der der Algorithmus für alle* p *die Option zu terminieren.*
3. *Ist die Markierung* $\{p\}$ *in* N *sicher bearbeitbar, dann ist* $\mathcal{K}^{pg}(N, \{p\})$ *eine nicht-leere Menge.*

Wir beweisen die einzelnen Teile in der angegebenen Reihenfolge.

Organisationssicht der Teamformation II

1. Wenn die Markierung $\{p\}$ in N bearbeitbar ist, dann gilt $\mathbf{0} \in RS(N, m)$ für alle m, die von $\{p\}$ erreichbar sind. Also gibt es für alle m Schaltfolgen, so dass $\{p\} \xrightarrow{w_1} m \xrightarrow{w_2} \mathbf{0}$. Da der Algorithmus genau dann terminiert, wenn $\mathbf{0}$ erreicht wird und er für jede erreichbare Markierung m die Möglichkeit besitzt diese zu erreichen, besteht auch stets die Option zu terminieren.
2. Die Aussage folgt aus (1).
3. Nach Proposition **??** ist die Markierung $\{p\}$ genau dann bearbeitbar, wenn das Nonterminal A_p der kontextfreien Grammatik $G(N, m)$ produktiv ist und nach Proposition **??** ist $\mathcal{K}^{pg}(N, \{p\})$ genau dann eine nicht-leere Menge, wenn A_p produktiv in $G(N, \{p\})$ ist.

Vollständigkeit der Teamformation I

Der Teambildungsalgorithmus generiert alle möglichen Prozesse.

Theorem

Sei $Org = (N, \mathcal{O}, R, D)$ eine wohlgeformte Organisation.Für alle $R \in \mathcal{R}$ und $p \in P_{Org}(R)$ gilt, dass jeder Prozess $(K, \phi) \in \mathcal{K}^{pg}(N, p)$ vom Teambildungsalgorithmus generiert werden kann.

Jeder Prozess $(K, \phi) \in \mathcal{K}^{pg}(N, p)$ kann auch induktiv vom Algorithmus **??** zur induktiven Prozesserzeugung erzeugt werden. Beachtet man, dass für R/D-Netze $|^\bullet t| = 1$ und daher auch $|B_t| = 1$ gilt, so stellt man fest, dass sich dieser Algorithmus kaum vom Teambildungsalgorithmus unterscheidet.

Der einzige Unterschied besteht darin dass die Transition t nicht aus der Menge $\phi(b)^\bullet$, sondern nur aus $\phi(b)^\bullet \cap Ag^{-1}(A^b)$ gewählt wird.

Vollständigkeit der Teamformation II

Da die Wahl $A^b \in \mathcal{A}_{dlg}(\phi(b))$ beliebig ist, können wir die Vereinigung über alle möglichen A^b betrachten:

$$\bigcup_{A^b \in \mathcal{A}_{dlg}(\phi(b))} \left(\phi(b)^\bullet \cap Ag^{-1}(A^b)\right) = \phi(b)^\bullet \cap \left(\bigcup_{A^b \in \mathcal{A}_{dlg}(\phi(b))} Ag^{-1}(A^b)\right) = \phi(b)^\bullet$$

Die zweite Umformung gilt, da mit $\mathcal{A}_{dlg}(p) = \{Ag(t) \mid t \in p^\bullet\}$ bereits $\phi(b)^\bullet \subseteq \bigcup_{A^b \in \mathcal{A}_{dlg}(\phi(b))} Ag^{-1}(A^b)$ gilt.

Also hat der Teambildungsalgorithmus die gleiche Auswahl wie der Algorithmus zur induktiven Prozesserzeugung. Dann stimmen also auch die generierten Prozesse überein.

Auswahlfunktionen

Den Nichtdeterminismus können wir eleminieren:

$$\begin{aligned} A^b &= \tau^1(K, \phi, b) \in \mathcal{A}_{dlg}(\phi(b)) \\ t &= \tau^2(K, \phi, b) \in (\phi(b)^\bullet \cap Ag^{-1}(A^b)) \\ p &= \tau^3(R) \in P_{Org}(R) \end{aligned}$$

Bei festgelegten Teamkonstruktor τ ist – im Falle der Termination – der generierte Prozess eindeutig festgelegt:

$$K_\tau(N, R) := K_\tau(N, \tau^3(R)) \tag{7}$$

Teamformation als vert. Algorithmus

function $K_\tau(N, p)$ is
  $(K, \phi) := ((\{b_0\}, \emptyset, \emptyset), \{(b_0, p)\})$
  while $(K^\circ \cap B) \neq \emptyset$ do
    foreach $b \in (K^\circ \cap B)$ do
      $(K, \phi) := ((B', E', F'), \phi')$ where

$$
\begin{aligned}
A_b &= (Ag \circ O \circ \phi)(b) \\
A^b &= \tau^1_{A_b}(K, \phi, b) \\
t &= \tau^2_{A^b}(K, \phi, b) \\
B'_t &= \{b_p \mid p \in t^\bullet\} \\
B' &= B_K \uplus B'_t \\
E' &= E_K \uplus \{e\} \\
F' &= F_K \cup \{(b, e)\} \cup (\{e\} \times B'_t) \\
\phi' &= \phi \cup \{(e, t)\} \cup \{(b_p, p) \mid p \in t^\bullet\}
\end{aligned}
$$

    end
  endwhile
  return (K, ϕ)
end

Konsistenz der Teamformation

Auch wenn die Wahl $\tau(K, \phi, b)$ bei der Bearbeitung von b eigentlich nur vom zuständigen Agenten $A_b = (Ag \circ O \circ \phi)(b)$ getroffen wird, muss die Auswahl in allen beteiligten Agenten identisch sein.

Definition

Das Abbildungstupel $\tau = (\tau^1, \tau^2, \tau^3)$ heißt *Teamkonstruktor*, wenn die Formation der Subteams konsistent verläuft:

$$\forall A \in \mathcal{A}_\mu : \tau_A(K, \phi, b) = \tau_{(Ag \circ O \circ \phi)(b)}(K, \phi, b) \tag{8}$$

Agentensicht der Teamformation

Der Agent A^b wählt eigentlich nicht unter den Nachfolgern von b

$$\phi(b)^\bullet \cap Ag^{-1}(A^b)$$

aus, sondern unter den Elementen seiner Präferenz:

$$\Delta_{A^b}(b)$$

$\rightarrow$ Konstruktion eines SONAR-Agenten.

Konstruktion I

Eine MAS-Organisation (Org, Ag) heißt *wohlgeformt*, wenn für jeden Positionsgagenten A_O mit $O \in \mathcal{O}$ ein Teamkonstruktor τ_{A_O} existiert, für den folgendes gilt:

1. Die benötigten Rollenfähigkeiten ρ_{A_O} ergeben sich anhand der A_O zugeordneten Transitionen:

$$\rho_{A_O}(D_0) = \{R(t^\bullet) \mid t \in Ag^{-1}(A_O) \cap T, D(t) = D_0\}$$

2. Die Teamgeneration $\gamma_{A_O} : \mathcal{R} \to \mathcal{G}$ geschieht anhand des Teamplanungsalgorithmus.

$$\gamma_{A_O}(R) = G(K_{\tau_{A_O}}(N, R))$$

Konstruktion II

3. Die Verhaltensregelmäßigkeiten $\Delta_{A_O}(G)(b)$ ergeben sich anhand der A_O zugeordneten Transitionen. Definiere für alle $b \in B_G$:

$$\begin{aligned}\Delta_{A_O}(G)(b) = \{ \quad & (D(t), \{(R(p), A_p) \mid p \in t^\bullet\}) \\ \mid \quad & t \in (T \cap \phi(b)^\bullet \cap Ag^{-1}(A_O)), \forall p \in t^\bullet : A_p \in \mathcal{A}_{dlg}(p)\}\end{aligned}$$

4. Die Handlungsmöglichkeiten $\delta_{A_O}(G)(\Delta)(b)$ ergeben sich anhand des Teams G. Definiere für alle $b \in B_G$:

$$\begin{aligned}\delta_{A_O}(G)(\Delta)(b) := (D(\phi(e)), \{ \quad & (R(\phi(b')), A_{O(\phi(e'_b))}) \mid \\ & (b, e) \in F_G, \forall b' \in e^\bullet : (b', e'_b) \in F_G\})\end{aligned}$$

Beachte, dass im Team G zu jedem b der Nachfolger e eindeutig bestimmt ist, ebenso wie zu jedem $b' \in e^\bullet$ das e'_b.

Konstruktion III

5. Der Handlungsplan muss ein beliebiger Teamplan sein, d.h. ein Prozess, der die Steuerbedingung erfüllt:

$$\pi_{A_O}(G)(D)(p) \in \mathit{Proc}(D(G), \hat{\psi}(G))$$

Die Definition einer wohlgeformten koordinierenden Organisation stellt sicher, dass ein solcher Prozess stets existiert.

Durch *Org* sind also ρ und Δ und durch τ sind γ und δ konstruktiv festgelegt.

Durch $\hat{\psi}$ wird π eingeschränkt, im allgemeinen jedoch nicht festgelegt.

Es zeigt sich deutlich, dass die Agenten eines generierten SONAR-MAS die *formale* Organisation modellieren, denn sie entsprechen exakt den Anforderungen der Organisationen.

SONAR-MAS ist wohlgeformt

Theorem

Das von einer wohlgeformten MAS-Organisation (Org, Ag) generierte SONAR-*MAS $\mu(Org, Ag)$ ist wohlgeformt.*

In $\mu(Org, Ag)$ ist jedem $O \in \mathcal{O}$ der Agent A_O zugeordnet. Es sind folgende Bedingungen zu erfüllen:

1. A_O kennt nur Teampartner, die durch die Verhaltensregelmäßgkeiten $\Delta_{A_O}(G)(p)$ über die Organisationsstruktur erzeugt werden, wobei nach Konstruktion nur Agenten aus der Menge $\{Ag(O) \mid O \in \mathcal{O}\}$ verwendet.
2. A_O vefügt nach Konstruktion für jede Präferenz $\Delta_{A_O}(G)(p)$ über die benötigten Fähigkeiten.
3. Der Handlungsplan ist nach Konstruktion immer ein Prozess, der die Steuerbedingung erfüllt.

Also gilt Wohlgeformtheit.

Akzeptierte Teams I

Nach Konstruktion passt Δ_A und δ bereits zu Struktur von G.

Theorem

Sei $Org = (N, \mathcal{O}, R, D, \psi)$ eine wohlgeformte Organisation und sei $R \in \mathcal{R}$, $p \in P_{Org}(R)$ und $\{p\}$ bearbeitbar.
Wenn τ ein Teamkonstruktor ist, dann wird jedes vom Teambildungsalgorithmus generierte Team $G(K_\tau(N, p))$ auch vom generierten Sonar*-MAS akzeptiert.*

Nach Theorem 15 hat der Algorithmus die Option zu terminieren, so dass mindestens ein Team $G(K_\tau(N, p))$ vom Teambildungsalgorithmus generiert wird.

Es sind zwei Eigenschaften zu zeigen:

Akzeptierte Teams II

1. Die Subteams passen zusammen: Dies gilt aufgrund der Konsistenzforderung (8) des Teamkonstruktors.

2. Die Teamzuweisungen entsprechen den individuellen Präfenzen aller Agenten, d.h. für alle $(b, e) \in F_G$ muss gelten:

$$\delta_{A(e)}(G)(\Delta)(b) = (D_G(e), \{(R_G(b'), A_G(e(b'))) \mid b' \in e^\bullet\})$$

Dies gilt, da nach Konstruktion im generierten SONAR-MAS gilt:

$$\begin{array}{ll} & \delta_A(G)(\Delta)(b) \\ = & (D(\phi(e)), \{(R(\phi(b')), Ag(O(\phi(e'_b)))) \mid (b,e) \in F_G, \forall b' \in e^\bullet : (b', e'_b) \in F_G \\ = & (D_G(e), \{(R_G(b'), A_G(e'_b) \mid (b,e) \in F_G, \forall b' \in e^\bullet : (b', e'_b) \in F_G\}) \\ = & (D_G(e), \{(R_G(b'), A_G(e(b')) \mid (b,e) \in F_G, b' \in e^\bullet\}) \end{array}$$

Die erste Umformung ergibt sich, weil die Gruppe aus (K, ϕ) konstruiert wird $(G(K, \phi))$, so dass $R_G = R \circ \phi$, $D_G = D \circ \phi$ und $A_G = Ag \circ O \circ \phi$ gilt. Nutzen wir dann aus, dass die Nachbedingung von b' eindeutig bestimmt ist, so erhalten wir die zweite Umformung.

Akzeptierte Teams I

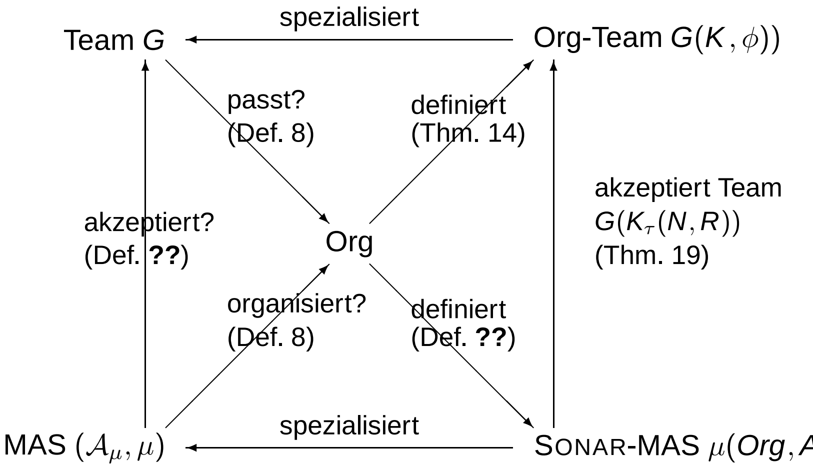
Alle Teams eines SONAR-MAS werden akzeptiert.

Theorem

Sei (Org, Ag) eine wohlgeformte MAS-Organisation, dann ist das generierten SONAR*-MAS $\mu(Org, Ag)$ organisiert.*

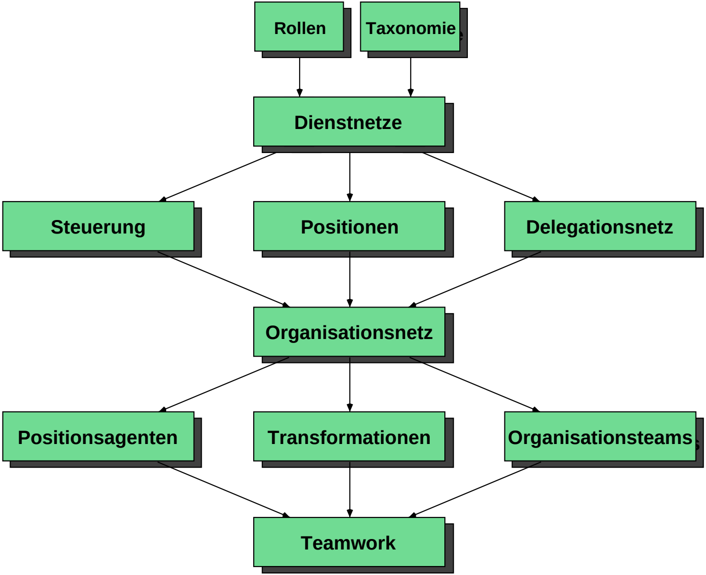
Das generierten SONAR-MAS $(\mathcal{A}_\mu, \mu) = \mu(Org, Ag)$ hat nach Konstruktion nur Teamnetze, die von der Netzstruktur der organisation *Org* erzeugt wird: $\mathcal{G} = \mathcal{G}(Org)$. Nach Theorem 19 werden außerdem alle Teamnetze vom Multiagentensystem akzeptiert: $\mathcal{G}(Org) = \mathcal{G}_{akz}(\mathcal{A}_\mu, \mu)$. Damit ist $\mu(Org, Ag)$ im Sinne von Definition 8 organisiert.

MAS und SONAR-MAS I



Organisationale Planung I

Organisationale Planung	Modellelement
strategische Ebene	Organisationsstruktur *Org*
taktische Ebene	Teamformation *G*
operationale Ebene	Teamplanung π_G


Rollen
Taxonomie
Dienstnetze
Steuerung
Positionen
Delegationsnetz
Organisationsnetz
Positionsagenten
Transformationen
Organisationsteams
Teamwork

Literatur I