第 11 卷第 4 期　　控制理论与应用　　Vol. 11, No. 4
1994 年 8 月　　CONTROL THEORY AND APPLICATIONS　　Aug., 1994

智能机器人系统的形式化建模*

田　华　席裕庚　张钟俊

(上海交通大学自动控制系，200030)

摘要：基于作者先前已为智能机器人系统提出并建造成的一种新型结构模型——环递阶模型[1,2]，应用形式语言理论，首次将智能机器人系统整体形式化地建模成了一种上下文无关文法.

关键词：机器人学；智能机器人系统；形式语言；分层系统；产生式系统；形式化建模

1　引　言

文[1,2]建立了所需的基本定义和概念，并为智能机器人系统(IRS)提出并建造成了一种新型的结构模型，即环递阶模型. 本文应用形式语言理论，首次将 IRS 整体形式化地建模成一种上下文无关文法.

2　广义数据的有序分类

定义 1　设 $b>a\geqslant 0$ 均是实数，对于$\forall\ \alpha,\beta\in D$，称映射

$$f:\quad D(\sim_i/D)\rightarrow[a,\ b] \tag{1}$$

为直觉单调映射，如果当 α 直觉而言具有比 β 更强烈的 D 论域上属性$\sim_i$时有 $f(\alpha)\geqslant f(\beta)$，其中 $i\in I_\sim$，$\sim\leftarrow\wedge,\vee$.

过程 1　设有直觉单调映射

$$\zeta_i:\quad D(\wedge_i)\rightarrow[0,\ 1],\quad i\in I_\wedge, \tag{2}$$

$$\xi_i:\quad D(\vee_i)\rightarrow[0,\ 1],\quad i\in I_\vee. \tag{3}$$

且有恰当的小正数 δ 及恰当的加权系数 $a_i,b_i\geqslant 0$，$\sum\limits_{i\in I_\wedge}a_i=1$，$\sum\limits_{i\in I_\vee}b_i=1$.

第 1 步　　$r=0,\quad I=I_{GD}.$

第 2 步

$$r\min=\arg\min_{rr\in I}\sum_{i\in I_\wedge}a_i\zeta_i(\wedge_i/D(GD_{rr})), \tag{4}$$

$$r\max=\arg\max_{rr\in I}\sum_{i\in I_\vee}b_i\xi_i(\vee_i/D(GD_{rr})), \tag{5}$$

$$I\Leftarrow I-(r\min,\ r\max). \tag{6}$$

第3步　1° $II=\{r\min,r\max\}$　(7)

2° 若$\exists\ rr\in I$，使得 $\mathrm{sim}(D(GD_{rr}),D(GD_{rm}))\leqslant\delta$，式中

$rm=r\min$ 或 $r\max$，

$$\mathrm{sim}(D(GD_{rr}),D(GD_{rm}))=\sum_{i\in I_\wedge}a_i|\zeta_i(\wedge_i/D(GD_{rr}))-\zeta_i(\wedge_i/D(GD_{rm}))|$$

---

* 国家八六三资助项目.
本文于1993年1月26日收到. 1993年12月17日收到修改稿.

$$+\sum_{i\in I_{\vee}} b_i\left|\xi_i(\vee_i/D(GD_{rr}))-\xi_i(\vee_i/D(GD_{rm}))\right|. \tag{8}$$

则
$$II\Leftarrow II\cup\{rr\};\quad I\Leftarrow I-\{rr\}. \tag{9}$$

转第 3 步的 2°；否则，$R_r=\bigcup_{i\in II} D(GD_i)$，转第 4 步.

第 4 步　若 $I\neq\varnothing$，则 $r\Leftarrow r+1$，转第 2 步；否则，转第 5 步.

第 5 步　$I_R=\{\Omega_{i=0}^{r} i\}$. $\bigcup_{i\in I_{GD}} D(GD_i)$ 被依据多种属性，即上行属性 $\Omega_{i\in I_{\wedge}}\wedge_i$ 和下行属性 $\Omega_{i\in I_{\vee}}\vee_i$ 重新划分成有序类 $\{\Omega_{r\in I_R} R_r\}$.

性质 1　$\# I_R\leqslant \# I_{GD}$，$\bigcup_{r\in I_R} R_r=\bigcup_{i\in I_{GD}} D(GD_i)$. (10)

性质 2　若 $r1\neq r2$，则 $R_{r1}\cap R_{r2}=\varnothing$. (11)

性质 3
$$\sum_{i\in I_{\wedge}} a_i\xi_i(\wedge_i/R_r)>\sum_{i\in I_{\wedge}} a_i\xi_i(\wedge_i/R_{r-1}), \tag{12}$$
$$\sum_{i\in I_{\vee}} b_i\xi_i(\vee_i/R_r)<\sum_{i\in I_{\vee}} b_i\xi_i(\vee_i/R_{r-1}). \tag{13}$$

式中 $r\in I_R$，并约定 $\xi_i(\wedge_i/R_{-1})=-\infty$，$\xi_i(\vee_i/R_r)=+\infty$.

3　觉元和纵元的上下文无关文法形式化模型

对于任何一个觉元 $P(k)$，无论其如何简单还是如何复杂，它都是将其输入（低级）世界描述 $WD(k-1,s,t)\in R_{r(k-1)}$，$\sim=1,\cdots,\sim(k-1)$，$\sim\leftarrow s,t$，沿时空融合成其输出（高级）世界描述 $WD(k,s,t)\in R_{r(k)}$，$\sim=1,\cdots,\sim(k)$，$\sim\leftarrow s,t$，其中 $r(k-1)\leqslant r(k)\in I_R$，$s$ 和 t 分别表示多传感信息融合的空间和时间指数. 一般而言，$\sim(k-1)\geqslant\sim(k)\geqslant 0$，$\sim\leftarrow s,t$，且 $s(k-1)=s(k)$ 与 $t(k-1)=t(k)$ 不会同时成立（意即或多或少总会做些融合）. 而且，原则上讲，总能用一组产生式来表示这一融合过程，称为融合产生式.

定义 2　设 $L_1\sim R_{r1}^{*}$ 且 $L_2\sim R_{r2}^{*}$，$\sim\leftarrow\subseteq$ 或 $\in$；若 $r1=r2$，则称 L_1 和 L_2 是同类的，记为 $L_1\backsim L_2$，其中星号表示集合的闭包. $\alpha\xrightarrow{\gamma}\backsim\beta$ 表示在 γ 参与制导下的产生式 $\alpha\rightarrow\beta$，且 $\gamma\backsim\beta$；$\alpha\backsim\rightarrow\beta$ 表示在 γ 参与制导下的产生式 $\alpha\rightarrow\beta$，且 $\alpha\backsim\gamma$.

定义 3　设有 $w(k)>0$ 条融合产生式，有 $w(k)$ 项融合条件公式

$$fcf_{kw}=fcf_{kw}\Big(\Omega_{s=1}^{sw(k-1,w)}\ \Omega_{t=1}^{tw(k-1,w)} WD(k-1,s,t)\Big),\ w=1,\cdots,w(k),\quad 0\leqslant$$
$$\sim w(k-1,w)\leqslant\sim w(k-1,w+1)\leqslant\sim(k-1),\ \sim\leftarrow s,t, \tag{14}$$

则融合产生式集合 $F(k)$ 可表示为

$$F(k)\subset\Big\{\Omega_{s=s_1}^{s_{12}}\ \Omega_{t=t_{11}}^{t_{12}} WD(k-1,s,t)\xrightarrow{\Omega_{f=f_1}^{f_2}\Omega_{g=g_1}^{g_2}\mathrm{STC}(k,f,g)}\backsim\Omega_{s=s_{21}}^{s_{22}}\ \Omega_{t=t_{21}}^{t_{22}} WD(k,s,t)\ \Big|\ (\forall\ w\in\{\Omega_{i=1}^{w(k)} i\},$$
$$fcf_{kw}=\text{true}),\ (0\leqslant\sim_{i1}\leqslant\sim_{i2}\leqslant\sim(k-2+i),\ i=1,2,\ \sim\leftarrow s,t),$$
$$(0\leqslant\sim_1\leqslant\sim_2\leqslant\sim(k),\ \sim\leftarrow f,g),\ (\sim_{12}-\sim_{11}\geqslant\sim_{22}-\sim_{21},\ \sim\leftarrow s,t),$$

且最后一组不等式中的等号不会同时成立（意即或多或少总会做些融合）\}. (15)

该定义中，约定 $WD(0,s,t)$，$\sim=1,\cdots,\sim(0)$，$\sim\leftarrow s,t$，表示由本体和环境感知系统的传感器直接输出的数据.

类似地，对于任何一个纵元 $M(n)$，无论其如何简单还是如何复杂，它都是基于其输入（高级）子任务指令 $\mathrm{STC}(n-1,f,g)\in R_{r(n-1)}$，$\sim=1,\cdots,\sim(n-1)$，$\sim\leftarrow f,g$ 和可得的（高

级)世界描述 $\underset{s=s_1}{\overset{s_2}{\Omega}}\underset{t=t_1}{\overset{t_2}{\Omega}}WD(n-1,s,t)\in R_{r(n-1)}$, $\sim=1,\cdots,\sim(n-1)$, $\sim\leftarrow s,t$,沿时空综合成其输出(低级)子任务指令 $\mathrm{STC}(n,f,g)\in R_{r(n)}$, $\sim=1,\cdots,\sim(n)$, $\sim\leftarrow f,g$,其中 $r(n-1)\geqslant r(n)\in I_R$,$f$ 和 g 分别表示子任务指令综合的空间和时间指数,原则上讲,总能用一组产生式来表示这一综合过程,称为综合产生式.

定义 4 综合产生式集合 $D(n)$ 可表示为

$$D(n)\subset\{\underset{f=f_{11}}{\overset{f_{12}}{\Omega}}\underset{g=g_{11}}{\overset{g_{12}}{\Omega}}\mathrm{STC}(n-1,f,g),\ \underset{s=s_1}{\overset{s_2}{\Omega}}\underset{t=t_1}{\overset{t_2}{\Omega}}WD(n-1,s,t)\backsim\xrightarrow{\underset{f=f_1}{\overset{f_2}{\Omega}}\underset{g=g_1}{\overset{g_2}{\Omega}}\mathrm{STC}(n-1,f,g)}$$
$$\underset{f=f_{21}}{\overset{f_{22}}{\Omega}}\underset{g=g_{21}}{\overset{g_{22}}{\Omega}}\mathrm{STC}(n,f,g)\,|\,(0\leqslant\sim_{i1}\leqslant\sim_{i2}\leqslant\sim(n-2+i),\ i=1,2,\ \sim\leftarrow f,g),$$
$$(0\leqslant\sim_1\leqslant\sim_2\leqslant\sim(n-1),\ \sim\leftarrow f,g,s,t)\}. \tag{16}$$

该定义中,约定 $\mathrm{STC}(0,f,g)$, $\sim=1,\cdots,\sim(0)$, $\sim\leftarrow f,g$,表示操作者给的总任务指令,$f(0)=1$.

定义 5 $\underset{i}{X}$ 表示将符号按其下标指数 i 表征的顺序连结成有限长度的符号串.

定义 6 第 j 步融合文法是一个四元组,$G_F(j)=(N_F(j),T_F(j),P_F(j),S_F(j))$,其中

1) $N_F(j)$ 为非终结符的有限集合,

$$N_F(j)=\{\underset{s=s_1}{\overset{s_2}{X}}\underset{t=t_1}{\overset{t_2}{X}}WD(j-1,s,t)\,|\,(0\leqslant\sim_1\leqslant\sim_2\leqslant\sim(j-1),\ \sim\leftarrow s,t\}\cup\{S_F(j)\}. \tag{17}$$

2) $T_F(j)$ 为终结符的有限集合,

$$T_F(j)=\{\underset{s=s_1}{\overset{s_2}{X}}\underset{t=t_1}{\overset{t_2}{X}}WD(j,s,t)\,|\,(0\leqslant\sim_1\leqslant\sim_2\leqslant\sim(j),\ \sim\leftarrow s,t\}. \tag{18}$$

且∃ $r\in I_R$,使得 $T_F(j)\subset R_r^*$,显然,$T_F(j)\cap N_F(j)=\varnothing$.

3) $P_F(j)$ 为形为 $\alpha\to\beta$ 的产生式的有限集合,

$$P_F(j)=F(j)|_{\Omega\leftarrow X}$$
$$\cup\{S_F(j)\to\underset{s=s_1}{\overset{s_2}{X}}\underset{t=t_1}{\overset{t_2}{X}}WD(j-1,s,t)\,|\,0\leqslant\sim_1\leqslant\sim_2\leqslant\sim(j-1),\ \sim\leftarrow s,t\}. \tag{19}$$

显然, $\alpha\in N_F(j),\quad \beta\in[N_F(j)\cup T_F(j)]^*$

4) $S_F(j)$ 为起始符,$S_F(j)\in N_F(j)$.

显然,$G_F(j)$ 是一种上下文无关文法.该文法产生的语言 $L(G_F(j))\subset R_r^*$,(∃ $r\in I_R$),称为第 j 步融合语言.

该定义中,约定

$$L(G_F(0))\triangleq L(G_F^{(0)})$$
$$\subseteq\{\underset{s=s_1}{\overset{s_2}{X}}\underset{t=t_1}{\overset{t_2}{X}}WD(0,s,t)\,|\,0\leqslant\sim_1\leqslant\sim_2\leqslant\sim(0),\ \sim\leftarrow s,t\}\subset R_0^*. \tag{20}$$

定理 1 $G_F(j)|_{X\leftarrow\Omega}$ 及其产生的语言不是上下文无关的.

定义 7 第 i 步综合文法是一个四元组,

$$G_D(i)=(N_D(i),T_D(i),P_D(i),S_D(i)),$$

其中

1) $N_D(i)$是非终结符的有限集合，

$$N_D(i) = \{\mathop{X}_{f=f_1}^{f_2}\mathop{X}_{g=g_1}^{g_2}\mathrm{STC}(i-1,f,g) \mid (0 \leqslant \sim_1 \leqslant \sim_2 \leqslant \sim (i-1),\ \sim \leftarrow f,g\} \cup \{S_D(i)\}. \tag{21}$$

2) $T_D(i)$为终结符的有限集合，

$$T_D(i) = \{\mathop{X}_{f=f_1}^{f_2}\mathop{X}_{g=g_1}^{g_2}\mathrm{STC}(i,f,g) \mid (0 \leqslant \sim_1 \leqslant \sim_2 \leqslant \sim (i),\ \sim \leftarrow f,g\}. \tag{22}$$

且∃ $r \in I_R$，使得 $T_D(i) \subset R_r^*$，显然，$T_D(i) \cap N_D(i) = \varnothing$.

3) $P_D(i)$为形为 $\alpha \to \beta$ 的产生式的有限集合，

$$P_D(i) = D(i)|_{\Omega \leftarrow X}$$

$$\cup \{S_D(i) \to \mathop{X}_{f=f_1}^{f_2}\mathop{X}_{g=g_1}^{g_2}\mathrm{STC}(i-1,f,g) \mid 0 \leqslant \sim_1 \leqslant \sim_2 \leqslant \sim (i-1),\ \sim \leftarrow f,g\}. \tag{23}$$

显然，$\alpha \in N_D(i), \quad \beta \in [N_D(i) \cup T_D(i)]^*$

4) $S_D(i)$为起始符，$S_D(i) \in N_D(i)$.

显然，$G_D(i)$是一种上下文无关文法. $L(G_D(i)) \subset R_r^*$，(∃ $r \in I_R$)，称为第 i 步综合语言.

该定义中，约定

$$L(G_D(0)) \triangleq L(\hat{G}_D(0))$$

$$\subset (\mathop{X}_{g=g_1}^{g_2}\mathrm{STC}(0,1,g) \mid 0 \leqslant g_1 \leqslant g_2 \leqslant g(0)\}. \tag{24}$$

定理 2　$G_D(i)|_{X \leftarrow \Omega}$及其产生的语言不是上下文无关的.

4　IRS 的任一级的上下文无关文法形式化模型

过程 2

第1步　1° $J(0)=0$，$j=1$.

2° 如果能够(重新)构造第 j 步融合文法 $G_F(j)$，使得具有前进性 ∃ $J(j) \in I_R$，使得

$$L(G_F(j)) \subset R_{J(j)}^*, \quad J(j-1) < J(j). \tag{25}$$

直接继承性

$$\begin{cases} \{\alpha \mid \alpha \to \beta \in P_F(j) \text{ 且 } \alpha \in L(G_F^{(j-1)})\} \neq \varnothing; \\ \{\alpha \mid \alpha \to \beta \in P_F(j) \text{ 且 } \alpha \in \bigcup_{jj=0}^{j-2} L(G_F^{(jj)});\ (j \leqslant 2) \text{ 或 } \varnothing \text{ (其它)}\} = \varnothing. \end{cases} \tag{26}$$

则 $G_F^{(j)} = (N_F^{(j)}, T_F^{(j)}, P_F^{(j)}, S_F^{(j)}) \triangleq G_F(j) = (N_F(j), T_F(j), P_F(j), S_F(j))$，并转第1步的3°；否则 $j=j-1$，转第1步的2°.

3° 如果 $L(G_F^{(j)}) \backsim L(G_D(0))$，则 $H=j$，$h=H$，转第2步；否则 $j=j+1$，转第1步的2°.

第2步　$i=H-h+1$. 如果能够(重新)构造第 i 步综合文法 $G_D(i)$，使得具有

直接继承性

$$\begin{cases} \{\alpha \mid \alpha \to \beta \in P_D(i) \text{ 且 } \alpha \in L(\hat{G}_D(i-1))\} \neq \varnothing; \\ \{\alpha \mid \alpha \to \beta \in P_D(i) \text{ 且 } \alpha \in \bigcup_{ii=0}^{i-2} L(\hat{G}_D(ii));\ (i \geqslant 2) \text{ 或 } \varnothing \text{ (其它)}\} = \varnothing. \end{cases} \tag{27}$$

对接性　$$L(G_D(i)) \backsim L(G_F^{(h-1)}). \tag{28}$$

则 $\hat{G}_D(i) = (\hat{N}_D(i), \hat{T}_D(i), \hat{P}_D(i), \hat{S}_D(i))) \triangleq G_D(i) = (N_D(i), T_D(i), P_D(i), S_D(i))$，并转第4步；

否则转第3步.

第3步 $h=h+1$. 如果 $h=H$,则转第1步;否则转第2步.

第4步 如果 $h=1$,则转第5步;否则 $h=h-1$,转第2步.

第5步 对于 $h=1,\cdots,H$, $G_D^{(h)}=(N_D^{(h)},T_D^{(h)},P_D^{(h)},S_D^{(h)})\triangleq\hat{G}_D(H-h+1)=(\hat{N}_D(H-h+1),\hat{T}_D(H-h+1),\hat{P}_D(H-h+1),\hat{S}_D(H-h+1))$,其中 $P_D^{(h)}\triangleq\hat{P}_D(H-h+1)$.

具体定义如下:

$$P_D^{(h)} \triangleq \hat{P}_D(H-h+1)|_{(D(H-h+1)|_{\Omega\leftarrow X}\leftarrow(\overline{D}(H-h+1)|_{\Omega\leftarrow X})}. \tag{29}$$

$$\overline{D}(i)|_{\Omega\leftarrow X}=\{\beta^{(i)}\backsim\xrightarrow{\gamma^{(i)}}\beta^{(i-1)}\,|\,\alpha(i-1)\backsim\xrightarrow{\Psi(i-1)}\alpha(i)\in D(i)|_{\Omega\leftarrow X}),$$
$$\text{且 } \beta^{(i)}\triangleq\alpha(i-1),\ \beta^{(i-1)}\triangleq\alpha(i),\ \gamma^{(i)}\triangleq\Psi(i-1)\},\quad i=1,\cdots,H. \tag{30}$$

$$\overline{M}(h)\triangleq M(h)|_{D(h)\leftarrow\overline{D}(h)}. \tag{31}$$

第6步 级被成功构造出,整个 IRS 分成 H 级,每一组 $L(h)$包括一个觉元 $P(h)$和一个纵元 $\overline{M}(h)$.

性质 4 $L(G_D^{(h)})\backsim L(G_F^{(h)})\subset R_{J(h)}^*$,且 $J(h-1)<J(h)\in I_R$, $h=1,\cdots,H$, $(L(G_D^{(H)})\triangleq L(\hat{G}_D(0)))$.

定理 3 能够构造一个上下文无关文法 $G_L^{(h)}=(N_L^{(h)},T_L^{(h)},P_L^{(h)},S_L^{(h)})$,其中 $N_L^{(h)}=N_D^{(h)}\cup N_F^{(h)}\cup\{S_L^{(h)}\}$, $T_L^{(h)}=T_D^{(h)}\cup T_F^{(h)}$, $P_L^{(h)}=P_D^{(h)}\cup P_F^{(h)}\cup\{S_L^{(h)}\to S_D^{(h)}\,|\,S_F^{(h)}\}$,且有 $L(G_L^{(h)})=L(G_D^{(h)})\cup L(G_F^{(h)})$, $h=1,\cdots,H$. 称 $G_L^{(h)}$ 为第 h 级文法, $L(G_L^{(h)})$为第 h 级语言.

该定理说明,IRS 第 h 级的运行,即在给定第 $h-1$级输出的世界描述 $L(G_F^{(h-1)})|_{z\leftarrow\Omega}$和第 $h+1$级输出的子任务指令 $L(G_D^{(h+1)})|_{z\leftarrow\Omega}$的条件下,第 h 级文法 $G_L^{(h)}$ 沿时空融合成高级世界描述并综合成低级子任务指令;第 h 级语言 $L(G_L^{(h)})$描述了第 h 级融合出的世界描述沿时空顺序组成的有限长度串与综合出的子任务指令沿时空顺序组成的有限长度串.

5 IRS 整体的上下文无关文法形式化模型

定理 4 能够构造一个上下文无关文法 $G_{IRS}=(N_{IRS},T_{IRS},P_{IRS},S_{IRS})$,其中

$$N_{IRS}=\bigcup_{h=1}^{H}N_L^{(h)}\cup\{S_{IRS}\},\quad T_{IRS}=\bigcup_{h=1}^{H}T_L^{(h)},$$

$$P_{IRS}=\bigcup_{h=1}^{H}P_L^{(h)}\cup\{S_{IRS}\to S_L^{(1)}\,|\cdots|\,S_L^{(H)}\},$$

且有 $L(G_{IRS})=\bigcup_{h=1}^{H}L(G_L^{(h)})$,称 G_{IRS}为系统文法, $L(G_{IRS})\subset\bigcup_{h=1}^{H}R_{J(h)}^*$为系统语言.

该定理说明,整个 IRS 的运行,即在给定本体和环境传感器直接输出的数据 $L(G_F^{(0)})|_{z\leftarrow\Omega}$和操作者给的总任务指令 $L(G_F^{(*)})|_{z\leftarrow\Omega}$的条件下,系统文法 G_{IRS}沿时空融合成各级世界描述并综合成各级子任务指令;系统语言 $L(G_{IRS})$描述了整个 IRS 中各级融合出的世界描述沿时空顺序组成的有限长度串与综合出的子任务指令沿时空顺序组成的有限长度串.

定理 5 能够构成一个下推自动机 $M=(\{q\},T_{IRS},N_{IRS},\delta,q,S_{IRS},\varnothing)$,使之按系统文法 G_{IRS}的最左推导方式工作,以空栈接受语言 $L_\varnothing(M)$,使得 $L_\varnothing(M)=L(G_{IRS})$,其中 δ 定义如下:

- 如果 $A\to\beta\in P_{IRS}$,则 $\delta(q,\varepsilon,A)$含有(q,β);
- 对于$\forall\ a\in T_{IRS}$, $\delta(q,a,a)=\{(q,\varepsilon)\}$.

其中 ε 表示空串.

至此，可对一个 IRS 的运行机制作一形象描述，其运行即同时从操作者给的总任务指令串和多传感器的直接数据沿时空组成的数据串开始，同时分别按各级融合文法和综合文法产生沿时空分布的各级世界描述串和子任务串的交互对接过程.

6 结 语

本文首次将 IRS 形式化地建模成了一种上下文无关文法，进而等价地转换成一种下推自动机，为 IRS 的建模问题建立了一种解析的框架. 由于形式语言本身理论的严密性和丰富性，这就为建模问题本身及基于此的其它一切系统问题的进一步深入研究奠定了解析的基础. 这是现存其它研究未曾达到的.

参 考 文 献

[1] 田华，蒋慰孙. 智能机器人体系结构的理论研究. 控制与决策，1993，8(5)：330—337

[2] 田华，席裕庚，张钟俊，蒋慰孙. 智能机器人系统建模的新方法. 模式识别与人工智能，1993，6(3)：261—266

Formalized Modeling of Intelligent Robot Systems

TIAN Hua, XI Yugeng and ZHANG Zhongjun

(Department of Automatic Control, Shanghai Jiao Tong University·Shanghai, 200030, PRC)

Abstract: Based upon the new structural model——loop hierarchy model, previously proposed and constructed by the authors for intelligent robot systems, by applying formal language theory, for the first time, an intelligent robot system is wholly modeled as a context-free grammar in a formalized way.

Key words: robotics; intelligent robot systems; formal language, hierarchical systems; production systems; formalized modeling

本文作者简介

田 华 1966年生. 1992年在华东理工大学获工学博士学位，现任上海交通大学博士后研究人员. 研究兴趣为智能控制系统，包括智能机器人系统与智能生产系统(CIMS 和 CIPS).

席裕庚 1946年生. 1968年毕业于哈尔滨军事工程学院，1984年在德国慕尼黑工业大学获工学博士学位. 现任上海交通大学教授. 自动控制系博士研究生导师. 目前研究兴趣为复杂工业过程和智能机器人控制的理论和方法.

张钟俊 1915年生. 1934年毕业于国立交通大学，分别于1935年1938年在美国麻省理工学院获工学硕士和科学博士学位. 现任中国科学院技术学部委员. 上海交通大学教授. 自动控制博士后科研流动站导师. 自动控制系博士研究生导师. 目前研究兴趣为工业大系统，工业过程控制，非线性系统，智能机器人和智能控制系统等.