

Petri 网共享 T 型子网合成公平性分析

夏传良

(山东建筑大学计算机科学与技术学院 济南 250101)

(中国科学院软件所计算机科学国家重点实验室 北京 100080)

摘要 共享 T-型子网合成是研究复杂 Petri 网系统性质的一个有效途径。本文研究了共享 T-型子网合成对参与合成的各网系统的公平性的继承关系,给出了合成网保持公平性的充分条件。随后给出的有关制造系统设计的举例,说明了该合成方法的有效性。本文的结果可为 Petri 网系统合成性质的考察提供有效途径。

关键词 Petri 网,合成,有界性,公平性,性质分析

Fairness Property Analysis of Petri Nets Synthesis Shared T-type Subnets

XIA Chuan-Liang

(School of Computer Science and Technology, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101)

(State Key Laboratory for Computer Science, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract Synthesis of Petri nets shared T-type subnets is an effective method for studying properties of complex Petri nets. The fairness preservation of the synthesis net is investigated. Sufficient conditions of fairness preservation are obtained. Application of the synthesis method is illustrated with an example from flexible manufacturing system. These results are useful for studying properties of Petri nets.

Keywords Petri nets, Synthesis, Boundedness, Fairness, Property analysis

1 引论

Petri 网作为一种分析和模拟系统的有效工具,已在实践中得到广泛应用,如计算机系统、分布式并行处理系统、柔性制造系统等。Petri 网侧重于系统的物理结构描述,有对结构和行为的统一考虑,对系统的表达能力强,并形成严格的体系,因此它为系统的设计和分析提供了一种有力的方法。但是,当建模的系统大而且复杂时,就会由于状态空间爆炸而带来系统分析上的高复杂性。有一种重要的方法可用来降低大系统建模分析的复杂度,这就是系统的合成操作。

Petri 网的合成操作方面已有较多的研究工作。M. D. Jeng^[1-3]研究了用 Petri 网来建模柔性制造系统的合成方法,提出了资源控制网的概念。每一个子系统都是资源控制网,且按两个约束条件合成起来,这样得到的大系统有结构活性。J. Esparza^[5,6]提出了活且有界的自由选择网的合成法则,可使合成后的网系统保持活性。关于按路径自动配置进行合成的问题,文[7]给出了一种有效的解决方案。文[8]展示了一种合成建模方法的应用,这种建模方法可用于 SWN(Stochastic Well Formed Net)的复杂案例的应用研究;文[9]给出了一种控制行为系统的合成方法,该系统用模块信号网建模;文[10]提出了一种正规设计表示模型——操作网系统(Operation Net System),用于对基于转换方式的异步系统进行高级合成;文[11]提出了一种合成方法,给出了合成网保持结构活性的条件;文[12]提出了链路合成方法,并用于系统设计;Chao^[13]提出了一种编结技术(Knitting Technique),可用于对比非对称选择网更一般的 Petri 网进行共享合成,并保持活

性、有界性和可恢复性。……这些工作均针对 Petri 网系统合成和网性质的分析。

上述工作虽然给出了一些合成操作方法,但对于共享子网合成涉及不多。因为共享 T-型子网合成是研究复杂 Petri 网系统性质的一个有效途径,而无饥饿性是系统设计和分析中的一个十分重要的性质,它对应着 Petri 网系统的公平性,因此本文对共享 T-型子网合成的公平性继承关系进行比较深入的研究。

本文的结构如下:第 2 节给出相关的基本概念、术语;第 3 节给出 Petri 网由“抽象化”到“精细化”的描述方法;第 4 节研究共享 T-型子网合成网系统对公平性的保持性问题;第 5 节举例;最后总结全文。

2 基本定义和术语

关于 Petri 网的基本概念和术语可参见文[4],这里只引入与本文相关的少数几个概念。

定义 2.1 设 $N=(P, T; F, W)$ 是一个 Petri 网, $\Sigma=(N, M_0)$ 是一个 Petri 网系统。 $M \in R(M_0)$,

(1) 库所 $p \in P$ 是有界的,当且仅当存在常数 $k > 0$,使得对 $\forall M \in R(M_0), M(p) \leq k$;

(2) Σ 是有界的,当且仅当 $\forall p \in P, p$ 是有界的。

定义 2.2^[4] 设 $\Sigma=(N, M_0)$ 是一个 Petri 网系统, Σ 的可达标识图 $RMG(V, E)$ 定义为有向边带标注的一个有向图:

(1) $V=R(M_0)$

(2) $\forall v_1, v_2 \in V, (v_1, v_2) \in E$ 当且仅当 $\exists t \in T; M_1[t > M_2$, 其中 M_1 和 M_2 分别为 $R(M_0)$ 中对应着 v_1 和 v_2 的元素。

这时,对有向边 (v_1, v_2) 旁标以“ t ”(为方便起见,记为 $(v_1, v_2)/t$)。

定义 2.3 设 $\Sigma = (N, M_0)$ 是一个 Petri 网系统,

(1) 变迁 t_1 和 t_2 处于公平关系,当且仅当 $\exists k > 0, \forall M \in R(M_0), \forall \sigma \in T^* : M[\sigma > \wedge \#(t_i/\sigma) = 0 \rightarrow \#(t_j/\sigma) < k, i, j \in \{1, 2\}, i \neq j$ (其中 $\#(t_i/\sigma)$ 为 t_i 在 σ 中出现的次数)

(2) 如果任意两个变迁都处于公平关系,则称 $\Sigma = (N, M_0)$ 为公平的 Petri 网系统。

定义 2.4 设 $N_1 = (P_1, T_1; F_1, W_1), N_2 = (P_2, T_2; F_2, W_2)$ 是两个 Petri 网, $N = (P, T; T, W)$ 称为 N_1, N_2 的一个同步合成(共享变迁合成)网,当且仅当

- (1) $P_1 \cap P_2 = \phi, P = P_1 \cup P_2$;
- (2) $T_1 \cap T_2 = T_0 \neq \phi, T = T_1 \cup T_2$;
- (3) $F = F_1 \cap F_2$;

定义 2.5 若 M_{10}, M_{20} 分别是网 N_1, N_2 的初始标识,则 N_1, N_2 的同步合成网 N 的初始标识为

$$M_0(p) = \begin{cases} M_{10}(p) & p \in P_1 \\ M_{20}(p) & p \in P_2 \end{cases}$$

相应的 Petri 网系统分别记为 $\Sigma_1 = (N_1, M_{10}), \Sigma_2 = (N_2, M_{20})$, 并称 $\Sigma = (N, M_0)$ 为 Σ_1 和 Σ_2 的同步合成 Petri 网系统。

定义 2.6 设 $N = (P, T; F, W)$ 和 $N_0 = (P_0, T_0; F_0, W_0)$ 是两个 Petri 网,若满足

- (1) $P_0 \subset P, T_0 \subset T$ 且 $P_0 \neq \phi, T_0 \neq \phi$;
- (2) $F_0 \subseteq F \cap (P_0 \times T_0) \cup (T_0 \times P_0)$;

则称 N_0 是 N 的一个子网。

T-型子网简单示例如图 1。

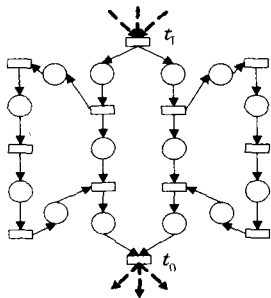


图 1 T-型子网简单示例

定义 2.7 设 $N = (P, T; F, W)$ 是一个 Petri 网, $N_0 = (P_0, T_0; F_0, W_0)$ 是 N 的一个子网,若满足

- (1) $\bullet P_0 \cup P_0 \bullet \subseteq T_0$;
- (2) N 是连通的,并且 $\{t_1, t_0\} \subseteq T_0, t_1$ 是唯一的输入变迁, t_0 是唯一的输出变迁;

则称 N_0 为 N 的一个 T-型子网。

假定 2.1 T-型子网系统 (N_0, M_{T0}) 由 T-型子网 N_0 和初始标识 M_{T0} 构成,并且满足:

- (1) t_0 每引发一次当且仅当 t_1 引发一次;
- (2) 若 P_0 中在初始状态下没有托肯,则 t_1, t_0 相继引发后, P_0 中不含托肯;若 P_0 中在初始状态下有托肯, t_1, t_0 相继引发后, P_0 中的所有托肯又恢复为原来状态;
- (3) 在 t_1 引发前、 t_0 引发后, $T_0 - \{t_1, t_0\}$ 中的变迁都不使能。

定义 2.8 设 $N_1 = (P_1, T_1; F_1, W_1)$ 和 $N_2 = (P_2, T_2;$

$F_2, W_2)$ 是两个 Petri 网,若 $N = (P, T; F, W)$ 满足:

- (1) $P_0 = P_1 \cap P_2 \neq \phi, T_0 = T_1 \cap T_2 \neq \phi$;
- (2) $P = P_1 \cup P_2, T = T_1 \cup T_2, F = F_1 \cup F_2$;
- (3) N_1, N_2 共享 T-型子网集合 N_0 , 其中 $N_0 = (N_{T1}, N_{T2}, \dots, N_{Tk}), N_{Ti}, (i=1, 2, \dots, k)$ 是 T-型子网(原来在 N_1, N_2 中连接到各 $N_{Ti}, (i=1, 2, \dots, k)$ 的弧,在合成时都连到各 $N_{Ti}, (i=1, 2, \dots, k)$ (只取原 N_1, N_2 中两个 N_{Ti} 中的一个作为合成网的 N_{Ti} ,另一个 N_{Ti} 连同与其相连的弧都删掉),且各弧上的权重 w 不变。则称 N 为 N_1, N_2 的共享 T-型子网合成网。

定义 2.9 设 $\Sigma_i = (N_i, M_{i0}) (i=1, 2)$ 是两个 Petri 网系统,若 $\Sigma = (N, M_0)$ 满足:

- (1) N 是 $N_i (i=1, 2)$ 的共享 T-型子网合成网;
- (2) $\forall p \in P_0, M_{10}(p) = M_{20}(p), M_0$ 定义如下:

$$M_0(p) = \begin{cases} M_{10}(p) & \forall p \in P_1, \\ M_{20}(p) & \forall p \in P_2 \end{cases}$$

则称 Σ 为 $\Sigma_i (i=1, 2)$ 的共享 T-型子网合成 Petri 网系统。

定义 2.10 T-型子网精细化操作 $Ref(\bar{i}, N_T)$: 将 Petri 网 $N = (P, T; F, W)$ 中的变迁 \bar{i} 精细化为一个 T-型子网 $N_T = (P_T, T_T; F_T, W_T)$ (即用 T-型子网 $N_T = (P_T, T_T; F_T, W_T)$ 来替换 \bar{i}), 得到 Petri 网 $N' = (P', T'; F', W')$, 其中

- (1) $P' = P \cup P_T$;
- (2) $T' = T \cup T_T - \{\bar{i}\}$;
- (3) $F' = F \cup F_T \cup \{(p, t_i) | p \in \bullet \bar{i}\} \cup \{(t_0, p) | p \in \bar{i} \bullet\} - \{(p, \bar{i}) | p \in \bullet \bar{i}\} - \{(\bar{i}, p) | p \in \bar{i} \bullet\}$ 。

定义 2.11 在网系统 (N', M_0') 中取子网由 t_1 开始经过 N_T 到 $t_0 \bullet$, 并增加变迁 t_T 以及弧集 $\{(p, t_T) | p \in t_0 \bullet\} \cup \{(t_T, p) | p \in \bullet t_1\}$, 对任意的 $p \in \bullet t_1: w(t_T, p) = w(p, t_1)$, 对任意的 $p \in t_0 \bullet: w(p, t_T) = w(t_0, p)$, 并且标识不变, 得到 T-型闭网系统 $(\bar{N}_T, \bar{M}_{T0})$ 。

定义 2.12 抽象化操作 $Abs(N_T, \bar{i})$: 将 Petri 网 $N = (P, T; F, W)$ 中的 T-型子网 $N_T = (P_T, T_T; F_T, W_T)$ 抽象化为一个变迁 \bar{i} (即用 \bar{i} 来替换 $N_T = (P_T, T_T; F_T, W_T)$), 得到 Petri 网 $N' = (P', T'; F', W')$, 其中

- (1) $P' = P - P_T$;
- (2) $T' = T \cup \{\bar{i}\} - T_T$;
- (3) $F' = F \cup \{(p, \bar{i}) | p \in \bullet t_1\} \cup \{(\bar{i}, p) | p \in t_0 \bullet\} - \{(p, t_1) | p \in \bullet t_1\} - \{(t_0, p) | p \in t_0 \bullet\} - F_T$ 。

3 Petri 网由“抽象化”到“精细化”的描述方式

对 Petri 网系统 (N, M_0) 进行精细化操作得到网系统 (N', M_0') 的同时,也得到了 T-型闭网系统 $(\bar{N}_T, \bar{M}_{T0})$ 。以下的引理 3.1 给出了 (N', M_0') 保持公平性的充分必要条件。对 (N', M_0') 使用抽象化操作可得到 (N, M_0) 和 T-型闭网系统 $(\bar{N}_T, \bar{M}_{T0})$, 只要 (N', M_0') 是公平的, 那么, (N, M_0) 和 $(\bar{N}_T, \bar{M}_{T0})$ 都是公平的。反之, 对 (N, M_0) 使用精细化操作得到 (N', M_0') , 只要 (N, M_0) 和 $(\bar{N}_T, \bar{M}_{T0})$ 都是公平的, 那么, (N', M_0') 就是公平的。

引理 3.1 设 (N', M_0') 是 (N, M_0) 中经 T-型子网精细化操作 $Ref(\bar{i}, N_T)$ 得到的 Petri 网系统, 则 (N', M_0') 是公平的充分必要条件是 (N, M_0) 与 $(\bar{N}_T, \bar{M}_{T0})$ 都是公平的。

证明: 先证明必要性(采用反证法)。

(1) 如果 Petri 网系统 (N, M_0) 不公平, $t_1, t_2 \in T$, t_1 与 t_2 处于非公平关系。如果 $t_1 = \bar{t}$, 则 $t_2 \in T - \{\bar{t}\}$, 由定义 2.10 易知, t_2 与 t_1, t_0, t_T 以及 $\forall t \in T_T$ 均处于非公平关系, 所以 (N', M_0') 不公平, 矛盾。如果 $t_1, t_2 \in T - \{\bar{t}\}$, 由于 $T - \{\bar{t}\} \subseteq T'$, 因此, t_1 与 t_2 在 (N', M_0') 中也是非公平关系, 从而 (N', M_0') 不公平, 矛盾。

(2) 如果 $(\bar{N}_T, \bar{M}_{T_0})$ 不公平, 不失一般性, 设 $t_1, t_2 \in T_T \cup \{t_T\}$, t_1, t_2 处于非公平关系。如果 $t_1, t_2 \in T_T$, 因为 $T_T \subseteq T'$, 所以由假设可知, (N', M_0') 不公平, 矛盾。如果 $t_1 = t_T, t_2 \in T_T$, 尽管 $t_T \notin T'$, 但从定义 2.12 可以看出 t_T 是 $N - \{\bar{t}\}$ 的替代, 这样 t_T 与 t_2 处于非公平关系, 这就意味着 $\forall t \in T - \{\bar{t}\}, t$ 与 t_2 均处于非公平关系, 而 $t, t_2 \in T'$, 亦即 (N', M_0') 不公平, 矛盾。

再证明充分性。由于 (N, M_0) 与 $(\bar{N}_T, \bar{M}_{T_0})$ 都是公平的, 容易推出 (N', M_0') 也是公平的, 否则同样可以用反证法导出矛盾。

4 Petri 网共享 T-型子网合成公平性分析

引理 4.1^[4] 有界 Petri 网系统 Σ 是一个公平 Petri 网系统的充分必要条件是, 在 $RMG(\Sigma)$ 中,

$$\forall \text{有向回路 } c, \forall t \in T, \exists e \in c: e // t.$$

引理 4.2 设有界 Petri 网系统 Σ_1 和 Σ_2 的同步合成 Petri 网系统为 Σ , 若 Σ_1 和 Σ_2 是两个公平的 Petri 网系统, 则 Σ 也是公平的 Petri 网系统。

证明: 设同步合成网系统 $\Sigma = (N, M_0)$ 的可达标识图为 $RMG(\Sigma) = (V, E)$, Σ_1 和 Σ_2 的可达标识图分别为 $RMG(\Sigma_1) = (V_1, E_1)$, $RMG(\Sigma_2) = (V_2, E_2)$ 。由定义 2.4 和定义 2.5 知, $\forall t \in T$, 如果 $\exists M \in R(M_0), M[t >$, 则在 Σ_1 中, $\exists M|_{P_1} \in R(M_{10})$ (其中 $M|_{P_1}$ 为 M 在 P_1 上的投影, 下同), 在 Σ_2 中, $\exists M|_{P_2} \in R(M_{20})$, 当 $t \in T_0$ 时, $M|_{P_1}[t >$ 且 $M|_{P_2}[t >$; 当 $t \in T_1 - T_0$ 时, $M|_{P_1}[t >$; 当 $t \in T_2 - T_0, M|_{P_2}[t >$ 。因此, 对 $RMG(\Sigma)$ 中的任意有向回路 c , 在 $RMG(\Sigma_1)$ 和 $RMG(\Sigma_2)$ 中分别存在有向回路 c_1 和 c_2 与之对应, 并且 $\forall t \in T$, 如果 $\exists e_1 \in c_1: e_1 // t$, 或者: $\exists e_2 \in c_2: e_2 // t$, 则 $\exists e \in c: e // t$ 。因为 Σ_1 和 Σ_2 是两个公平的 Petri 网系统, 由引理 4.1 知, 在 $RMG(\Sigma_i)$ 中, 任意有向回路 $c, \forall t_i \in T_i, \exists e_i \in c_i: e_i // t_i, i=1, 2$, 则在 $RMG(\Sigma)$ 中, 任意有向回路 $c, \forall t \in T, \exists e \in c: e // t$, 所以根据引理 4.1, Σ 是公平的 Petri 网系统。

定理 4.1 设有界 Petri 网系统 Σ_1 和 Σ_2 的共享 T-型子网合成网系统为 Σ , 若 Σ_1 和 Σ_2 是两个公平的 Petri 网系统, 则 Σ 也是公平的 Petri 网系统。

证明: 先对 Σ_1 和 Σ_2 分别使用抽象化操作, 得到网系统 Σ_1' 和 Σ_2' , 因为 Σ_1 和 Σ_2 是两个公平的 Petri 网系统, 所以根据引理 3.1 得, Σ_1' 和 Σ_2' 也是两个公平的 Petri 网系统。再对 Σ_1' 和 Σ_2' 进行同步合成得到 Σ_1' 和 Σ_2' 的同步合成网系统 Σ' , 由引理 4.2 知, Σ' 是一个公平的 Petri 网系统。最后对 Σ' 使用精细化操作, 得到 Σ_1 和 Σ_2 的共享 T-型子网合成网系统 Σ , 又由引理 3.1 得, Σ 也是公平的 Petri 网系统。

5 举例

图 2、图 3 中的 $\Sigma_1 = (N_1, M_{10}), \Sigma_2 = (N_2, M_{20})$, 分别是两个柔性制造系统, 它们有 3 个相同的子系统, (N_{T1}, M_{T10}) ,

$(N_{T2}, M_{T20}), (N_{T3}, M_{T30})$ 。

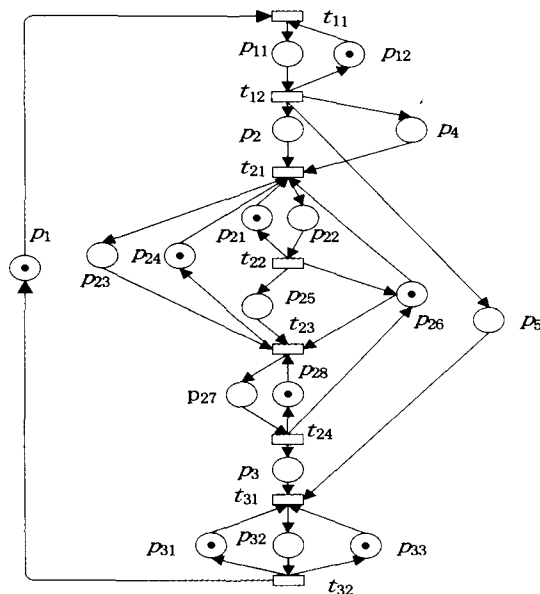


图 2 柔性制造系统 1

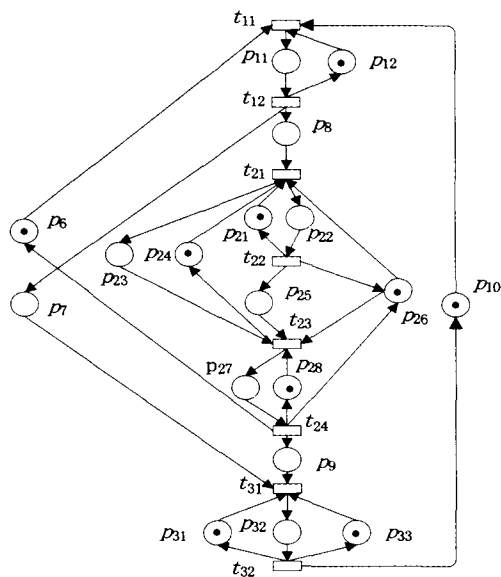


图 3 柔性制造系统 2

其中 $N_{T1} = \{P_{T1}, T_{T1}; F_{T1}, W_{T1}\}, P_{T1} = \{p_{11}, p_{12}\}, T_{T1} = \{t_{11}, t_{12}\}, M_{T10}(p_{12}) = 1;$

$N_{T2} = \{P_{T2}, T_{T2}; F_{T2}, W_{T2}\}, P_{T2} = \{p_{21}, p_{22}, p_{23}, p_{24}, p_{25}, p_{26}, p_{27}, p_{28}\}, T_{T2} = \{t_{21}, t_{22}, t_{23}, t_{24}\}, M_{T20}(p_{21}) = M_{T20}(p_{24}) = M_{T20}(p_{26}) = M_{T20}(p_{28}) = 1$

$N_{T3} = \{P_{T3}, T_{T3}; F_{T3}, W_{T3}\}, P_{T3} = \{p_{31}, p_{32}, p_{33}\}, T_{T3} = \{t_{31}, t_{32}\}, M_{T30}(p_{31}) = M_{T30}(p_{33}) = 1$

其中 (N_{T2}, M_{T20}) 由机械加工车间的 Petri 网模型^[15] 改造而得。

$\Sigma_1 = (N_1, M_{10}), \Sigma_2 = (N_2, M_{20})$ 共享 T-型子网合成网系统模型 $\Sigma = (N, M_0)$ 如图 4 所示。因为 $\Sigma_1 = (N_1, M_{10}), \Sigma_2 = (N_2, M_{20})$ 是两个公平的 Petri 网系统, 所以由定理 4.1 知, N 也是一个公平的 Petri 网系统。

结论 本文讨论了 Petri 网系统的共享 T-型子网合成的公平性的保持性问题。给出了合成网系统保公平性的条件。文中的举例进一步展示了该方法的实际价值。本文的结果可

为复杂大系统的设计和验证提供有力保证。下一步的研究工作是进一步推广共享子网合成满足动态性质的保持性条件,并研究对其它性质(如结构性)的保持性问题。

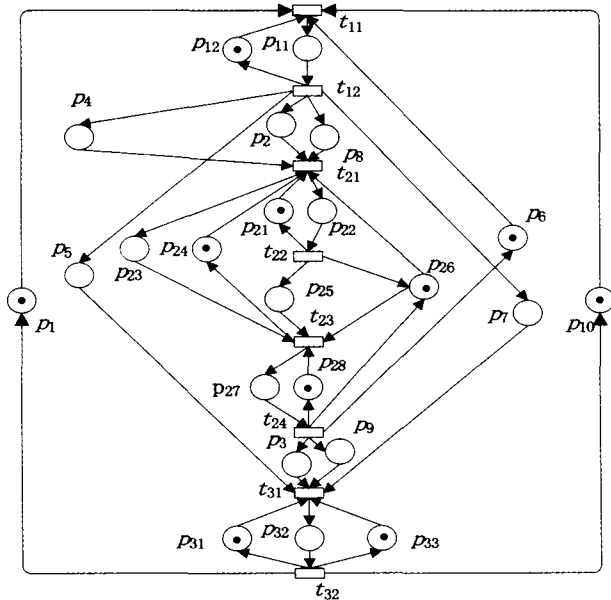


图4 柔性制造合成网系统

参考文献

- 1 Jeng M D. A petri net synthesis theory for modeling flexible manufacturing systems. IEEE Transaction on systems, Man, and Cybernetics-Part B; Cybernetics, 1997, 27(2): 169~183
- 2 Jeng M D, DiCeara F. A review of synthesis techniques for Petri

- nets with application to automated manufacturing systems. IEEE Transaction on systems, Man, and Cybernetics, 1993, 23(1): 301~312
- 3 Jeng M D, DiCeara F. Synthesis using control nets for modeling share resource systems. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, 1996, 11(3): 317~324
- 4 吴哲辉. 有界 Petri 网的活性和公平性的分析与实现, 1989, 12(4): 267~278
- 5 Esparza J, Sila M. On the analysis and synthesis of free choice systems. In: Rozenberg G, ed. Lecture Notes in Computer Science. New York: Springer-Verlag, Vol 483, 1990. 243~286
- 6 Esparza J, Sila M. Top-down synthesis of live and bounded free choice nets. In: Rozenberg G, ed. Lecture Notes in Computer Science. New York: Springer-Verlag, Vol 524, 1991. 118~139
- 7 Badouel E, Darondeau Ph. The synthesis of Petri nets from path-automatic specifications. Information and Computation, 2004, 193: 117~135
- 8 Franceschinis G, Gribaudo M, et al. Compositional Modeling of Complex Systems; Contact Center Scenarios in OsMoSys. In: Proc. the 25th International Conference on Application and Theory of Petri Nets. Bologna, Italy, 2004. 177~196
- 9 Juhás G, Lorenz R, et al. Synthesis of Controlled with Modules of Signal Nets. In: Proc the 25th International Conference on Application and Theory of Petri Nets. Bologna, Italy, 2004. 238~257
- 10 Yoo Dong-Hoon, Lee Dong-Ik, et al. Operation Net System: A Formal Design Representation Model for High-Level Synthesis of Asynchronous Systems Based on Transformations. In: Proc. the 25th International Conference on Application and Theory of Petri Nets. Bologna, Italy, 2004. 435~453
- 11 夏传良. 一种 Petri 网合成方法及其在系统建模中的应用. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 271~277
- 12 夏传良, 陆维明. 论 Petri 网链路合成. 系统工程理论与实践, 2005, 25(6): 19~26
- 13 Chao D Y. Petri net synthesis and synchronization using knitting technique. Journal of Information Science and Engineering, 1999, 15: 543~568
- 14 王维平, 朱一凡, 华雪倩, 等. 离散事件系统建模与仿真. 长沙: 国防科技大学出版社, 1997. 99~107

(上接第 260 页)

的、可裁剪的 CMX。系统多任务内核为 FOS_XA_C.H、dos.h、fos.h、FOS_INL.H 四个文件,环境和硬件参数定义包含在 stdlib.h 和 hal.h 文件中,可供用户修改。

系统主程序 main.c 部分代码如下:

```
main()//主程序
{
    initiate(); //初始化系统硬件
    OSInit(); //多任务系统初始化
    OSInit_XA();
    OSTaskCreate();
    OSStart();
}

void TASK_START(void) //任务系统启动及管理
{
    InitRealTime(); //初始化数据参数
    OS_ENTER_CRITICAL(); //开中断
    settimer(); //设置定时器
    OS_EXIT_CRITICAL(); //关中断
    ... //不掉电 RAM 数据处理
    ... //初始化串口、以太网
    OSMboxCreate(); //创建界面邮箱
    OSTaskCreate(); //创建键盘处理任务
    ...
}
```

网络通讯程序 ethernet.c 部分代码如下:

```
#include "..\hal\hal.h" //硬件环境参数
#include "..\ethernet\socket.h" //中间层网络接口
#include "..\ethernet\ethernet.h" //应用层定义
```

中间层采用 XML 语言对系统规范说明示例:

```
<EmbeddedSystem>
    <RTOS> CMX </RTOS>
    <FunctionLibrary> TIMER1 </FunctionLibrary>
    <Communication> COM_MSG </Communication>
    ...
    <MainTask> main() </MainTask>
</EmbeddedSystem>
```

结束语 当今嵌入式市场日益扩大,全球竞争日趋激烈,嵌入式系统的开发成本、开发周期、质量显得越来越重要,而其开发设计能力远远落后于系统复杂性需求,传统的嵌入式

开发方法难以解决面临的新问题,通用计算机系统的软件体系结构标准又难以直接运用,嵌入式系统的发展面临新的机遇和挑战。良好的软件体系结构和合适的开发方法,对于系统开发的成功具有重大的意义。

本文是对涉及软件体系结构、软件开发过程进行改进的多个嵌入式系统项目的总结,解决了嵌入式软件在一定范围内的跨平台性。从实际应用效果来看,显著提高了开发效率,取得了较好的效益。专业人员和领域开发人员反应积极,并不断就开发细节提出改进意见,希望能进一步完善,形成规范。文中介绍了基于嵌入式操作系统应用软件开发宏观体系结构的设计和表达,这方面的研究工作还有待进一步的努力,才能加以规范并推广使用。

参考文献

- 1 Li Yi, Wang Zhiyan, Zeng Haizan. Correlation filter: an accurate approach to detect and locate low contrast character strings in complex table environment[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(12): 1639~1644
- 2 李谊, 王知衍, 曾海赞. 采用混合神经网络高精度提取机票字符. 计算机工程与应用[J], 2004, 40(8): 209~211
- 3 严和平, 邓荣佐, 王知衍. 一种用于嵌入式应用开发的软件体系结构[J]. 计算机应用研究, 2005(11): 89~91
- 4 潘清. 操作系统体系结构研究[J]. 计算机科学, 2000, 27(4): 14~17
- 5 Buschmann F, Meunier R, Rohnert H, Sommerlad P, Stal M. 面向模式的软件体系结构 卷 1: 模式系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003. 1
- 6 杨美清, 王千祥, 梅宏, 陈兆良. 基于复用的软件生产技术[J]. 中国科学 E 辑, 2004, 31(4): 363~37