PMC 故障模型的方程诊断

宣恒农[1] ,张大方[2] ,张 明[3]

(1. 南京经济学院计算机科学与技术系,江苏南京 210003 ;
2. 湖南大学计算机与通信学院,湖南长沙 410082 ;
3. 南京师范大学数学与计算机科学学院,江苏南京 210097)

摘 要: 首次建立起 PMC 方程模型的定义(即 PMC 模型的方程描述) . PMC 模型是一种最常见的系统级故障模型,针对传统的图论诊断算法离不开"t-可诊断性"和"相信大多数"(即假定系统中故障机的台数少于处理机总台数的一半) 的特点,文中引入"绝对故障基"等概念,并充分运用"集团"工具,在不以"t-可诊断性"和"相信大多数"作前提假设的情况下,找到了求 PMC 模型全体相容故障模式的具体方法 ——方程诊断算法.

关键词: 系统级故障诊断; PMC 故障模型; 方程诊断; 相容故障模式; t-可诊断性

中图分类号: TP301 **文献标识码**: A **文章编号**: 0372-2112 (2003) 05-0694-04

The Equation Diagnosis on PMC Fault Model

XUAN Heng-nong[1] ,ZHANG Da-fang[2] ,ZHANG Ming[3]

(1. *Dept. of Computer Science and Technology, Nanjing University of Economics, Nanjing, Jiangsu* 210003, *China*;
2. *School of Computer and Communication, Hunan University, Changsha, Hunan* 410082, *China*;
3. *School of Mathematics and Computer Science, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu* 210097, *China*)

Abstract: The definition of PMC equation model (that is equation description of PMC model) was first set up. PMC model is a kind of most common system-level fault model. Owing to the characteristics that traditional graph theory diagnosis algorithm couldn't be without "t-diagnosabe" and "believe the most" (that is supposing the number of fault processors less than half the number of all processors in the system) ,the concepts of "absolute fault base" etc. were defined ,and the tool of "body grouping" was fully wielded ,finally a concrete method ——equation diagnosis algorithm was found ,on seeking all consistent fault patterns for the class of models without supposing "t-diagnosable" or "believe the most".

Key words: system-level fault diagnosis; PMC fault model; equation diagnosis; consistent fault pattern; t-diagnosable

1 引言

PMC 故障模型[1] ,简称 PMC 模型,是基于测试的对称模型,它是人们最早提出的一种系统级故障模型,也是一种最常见的系统级故障模型. 在从 1967 年至今的三十多年时间里,人们已经对 PMC 模型研究出若干富有成效的诊断算法[1,5~8] . 然而,过去人们对此所做的全部工作都是基于图论模型(即 PMC 模型的图论描述方式) 上的. 在这样的模型中,人们总是以"t-可诊断性"和"相信大多数"作前提假设,这样的前提假设使算法的实用性大打折扣.

笔者首次对基于互测的 PMC 故障模型提出"方程诊断"的有关概念,并且把这些模型等价地转换为一个代数方程组(也可以转换为一个代数方程) ,尔后通过运用"集团"[7,8]和引入"绝对故障基"等工具,对一般情形下的 PMC 模型,找到了求全体相容故障模式的具体方法 ——方程诊断算法. 这种诊断算法既不必用"t-可诊断性"作假设,也无需以"相信大多数"做前提,就能求出全部相容故障模式.

2 概念

设 $X = \{x_1, \cdots, x_n\}$为一个有限系统,其中的每个单元,要么是正常单元,要么是故障单元. 每一个单元都能够采用某种方式对系统中的其他单元进行测试和被这些单元测试,并且能够就各次测试的结果作出报告. 用"$x_i = 1$"表示"x_i 为正常单元","$x_i = -1$"表示"x_i 为故障单元". 而"$a_{ij} = 1$","$a_{ij} = -1$"和"$a_{ij} = 0$"分别表示"x_i 测得 x_j 为正常单元","x_i 测得 x_j 为故障单元"和"x_i 没有对 x_j 进行测试". 如此由一批测试报告便决定了一个 n 阶矩阵 $A = (a_{ij})_{n\times n}$, $a_{ij} = \{1, -1, 0\}$. 反之,任意一个这样的矩阵,可以确定一批测试报告.

所谓基于互测的故障模型,是指在矩阵 $A = (a_{ij})_{n\times n}$当中,对任意的 $i, j \in \{1, \cdots, n\}$,当 $a_{ij} \neq 0$ 时必有 $a_{ji} \neq 0$. 本文的

收稿日期:2002-05-22;修回日期:2002-10-12
基金项目:国家自然科学基金(No. 69973016) ;广东省自然科学基金(No. 010475)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

研究对象为基于互测的 PMC 故障模型(故约定文中所述及到的矩阵均具备以上性质). 根据任意两台处理机 x_i、x_j 正常或有故障的各种情况, PMC 模型的测试结果可以由以下表格(表 1)来描述.

表 1

x_i	x_j	a_{ij}
正常	正常	正常
正常	有故障	有故障
有故障	正常	正常或有故障
有故障	有故障	正常或有故障

PMC 模型的核心内容在于:"正常单元的测试结果是可靠的",即"当 $x_i = 1$ 且 $a_{ij} = 1$ 时 $x_j = 1$;当 $x_i = 1$ 且 $a_{ij} = -1$ 时 $x_j = -1$". 简单地说:"当 $x_i = 1$ 且 $a_{ij} \neq 0$ 时 $a_{ij} = x_j$". 由此, PMC 模型蕴含如下方程:

$$(1 + x_i)\, a_{ij} (a_{ij} - x_j) = 0. \tag{1}$$

此外,我们注意到当 x_i 为故障单元(即 $x_i = -1$) 或 x_i 根本没有对 x_j 进行测试(即 $a_{ij} = 0$) 时式(1) 仍然成立.

反之,假设对任意的 $i, j \in \{1, \cdots, n\}$, x_i、x_j 与相应的 a_{ij} 的值总能满足方程(1), 则可以验证 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 恰好构成一个 PMC 模型.

事实上,将 $x_i = x_j = 1$ 代入方程(1) 可解出 $a_{ij} \in \{0, 1\}$;将 $x_i = 1$ 与 $x_j = -1$ 代入式(1) 可得 $a_{ij} \in \{0, -1\}$. 此即说明当用一个正常单元 $x_i (x_i = 1)$ 对另一单元 x_j 进行测试 $(a_{ij} \neq 0)$ 时, 所得的 a_{ij} 的值(当 $x_i = 1$ 时为 1, 当 $x_i = -1$ 时为 -1) 与 x_j 本身的值是一致的.

于是, PMC 模型完全可以用一组(1) 这样的方程 $(i, j = 1, \cdots, n)$ 来刻划. 或等价地,将它们缩写为一个方程:

$$\sum_{i,j=1}^{n} (1 + x_i) \,|\, a_{ij} (a_{ij} - x_j) \,|\, = 0. \tag{2}$$

定义 1　任意其元素均属于$\{1, -1, 0\}$的 n 阶矩阵称为一个(n 维的) PMC(故障) 模型. 全体(n 维的) PMC(故障) 模型称为(n 维的) PMC 故障库, 记为 C_n 或 C. 任意其元素均属于$\{1, -1\}$的 n 维向量称为一个(n 维) 标准向量. 全体(n 维的) 标准向量称为(n 维的) 标准向量库, 记为 X_n 或 X. 设 $A = (a_{ij})_{n \times n} \in C$, $x = \begin{pmatrix} x_i \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix} \in X$, 若式(1) 对任意的 $i, j \in \{1, \cdots, n\}$ 成立(或式(2) 成立), 则称 x 为 A 的一个 PMC 型解. A 的全体 PMC 型解, 称为 A 的 PMC 型解集, 记为 J_A.

综上所述,我们便可得到

定理 1　设 A 为一个 n 维的 PMC 故障模型, X 为标准向量库, 则 $\forall x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix} \in X$, 下列命题等价:

(i) x 为 A 的一个 PMC 型解;

(ii) $(1 + x_i)\, a_{ij} (a_{ij} - x_j) = 0$,
$i, j \in \{1, \cdots, n\}$.　　(1)

(iii) $\sum_{i,j=1}^{n} (1 + x_i) \,|\, a_{ij} (a_{ij} - x_j) \,|\, = 0$.　　(2)

3　诊断算法及其理论

定理 2　设 A 为一个 n 维的 PMC 故障模型 $i, j \in \{1, \cdots, n\}$, $a_{ij} = 1$, $a_{ji} = -1$, 则对任意的 $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix} \in J_A$, 有 $x_i = -1$ 成立.

证明　将 $a_{ij} = 1$ 代入式(1) 得 $(1 + x_i)(1 - x_j) = 0$;将 $a_{ji} = -1$ 代入式(1) 得:$(1 + x_j)(1 + x_i) = 0$. 两式相加得 $2(1 + x_i) = 0$. 从而 $x_i = -1$.

定理 3　设 A 为一个 n 维的 PMC 故障模型, $k_1, k_2, \cdots, k_r \in \{1, 2, \cdots, n\}$ 使得 $a_{k_1 k_2} = a_{k_2 k_3} = \cdots = a_{k_{r-1} k_r} = a_{k_r k_1} = 1$, 则对任意的 $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix} \in J_A$, 有 $x_{k_1} = x_{k_2} = \cdots = x_{k_r}$ 成立.

证明　对任意的 $p \in \{1, \cdots, r-1\}$, $a_{k_p k_{p+1}} = 1$. 将 $i = k_p$, $j = k_{p+1}$, $a_{ij} = 1$ 代入式(1) 得

$$(1 + x_{k_p})(1 - x_{k_{p+1}}) = 0 \tag{3}$$

若 $x_{k_1} = 1$, 在式(3) 中分别令 $p = 1, \cdots, r-1$ 得 $x_{k_2} = \cdots = x_{k_r} = 1$, 从而 $x_{k_1} = x_{k_2} = \cdots = x_{k_r} = 1$.

若 $x_{k_1} = -1$, 将 $i = k_r$, $j = k_1$, $a_{ij} = a_{k_r k_1} = 1$ 代入式(1) 得 $(1 + x_{k_r})(1 - x_{k_1}) = 0$. 因 $x_{k_1} = -1$ 故 $x_{k_r} = -1$. 在式(3) 中分别令 $p = r-1, r-2, \cdots, 2$ 得 $x_{k_{r-1}} = \cdots = x_{k_2} = -1$, 从而 $x_{k_1} = x_{k_2} = \cdots = x_{k_r} = -1$.

综上所述,定理得证.

推论　设 A 为一个 n 维的 PMC 故障模型, $i, j \in \{1, \cdots, n\}$ 满足 $a_{ij} = a_{ji} = 1$, 则对任意的 $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix} \in J_A$, 有 $x_i = x_j$ 成立.

定义 3　设 A 为一个 n 维的 PMC 故障模型, $i_1, i_2, \cdots, i_l \in \{1, \cdots, n\}$ 两两互异. 若

(i) 对任意的 $i, j \in \{i_1, \cdots, i_l\}$, 存在 $k_1, \cdots, k_r \in \{i_1, \cdots, i_l\}$, 满足 $k_1 = i$, $k_r = j$, 且对任意的 $p \in \{1, \cdots, r-1\}$, 总有 $a_{k_p k_{p+1}} = a_{k_{p+1} k_p} = 1$;

(ii) 对任意的 $i \in \{i_1, \cdots, i_l\}$ 和任意的 $j \in \{1, \cdots, n\} \setminus \{i_1, \cdots, i_l\}$, 总有 $a_{ij} \neq 1$ 或 $a_{ji} \neq 1$. 则称$\{i_1, \cdots, i_l\}$为一个(关于 A 的) 集团.

为方便起见,我们特别地规定:若某个固定的 $i \in \{1, \cdots, n\}$ 对任意的 $j \in \{1, \cdots, n\} \setminus \{i\}$ 均有 $a_{ij} \neq 1$ 或 $a_{ji} \neq 1$, 则称$\{i\}$(有时也称 i) 为一个(关于 A 的) (孤立) 集团.

注　求集团的方法步骤参见文[7].

推论　设 A 为一个 n 维的 PMC 故障模型, $\{i_1, \cdots, i_l\}$ 为一个(关于 A 的) 集团, 则对任意的 $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix} \in J_A$, 有 $x_{i_1} = \cdots = x_{i_l}$ 成立.

证明　对任意的 $i, j \in \{i_1, \cdots, i_l\}$, 由定义 3 之(i) 知, 存在 $k_1, \cdots, k_r \in \{i_1, \cdots, i_l\}$, 使得 $k_1 = i$, $k_r = j$, 且对任意的 $p \in \{1, \cdots, r-1\}$, 总有 $a_{k_p k_{p+1}} = a_{k_{p+1} k_p} = 1$. 依定理 3 之推论, $x_i =$

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$x_{k_1} = x_{k_2} = \cdots = x_{k_r} = x_j$. 从而 $x_{i_1} = \cdots = x_{i_l}$.

注 在上述集团$\{i_1, \cdots, i_l\}$中,若对任意的 $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix} \in J_A$,均有 $x_{i_1} = \cdots = x_{i_l} = 1$ 成立(或所有的 $x_{i_p} = -1, 1 \le p \le l$),则称这个集团为一个(关于 A 的)正常集团(或故障集团).

定理 4 设 $A = (a_{ij})_{n\times n}$为一个 n 维的 PMC 故障模型,$\{i_1, \cdots, i_l\}(l > 1)$为一个(关于 A 的)集团. 若 $\exists \lambda、\mu \in \{i_1, \cdots, i_l\}(\lambda \ne \mu)$, $st.\ a_{\lambda\mu} = -1$,则$\{i_1, \cdots, i_l\}$为一个(关于 A 的)故障集团.

证明 对任意的 $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix} \in J_A$,将 $i = \lambda, j = \mu$ 与 $a_{\lambda\mu} = -1$ 代入式(1)得:$(1 + x_i)(1 + x_j) = 0$. 故 $x_i = -1$ 或 $x_j = -1$. 依定义 3 之推论及推论之注知$\{i_1, \cdots, i_l\}$为一故障集团.

定义 4 设 $A = (a_{ij})_{n\times n}$为一个 n 维的 PMC 故障模型,$i \in \{1, \cdots, n\}$. 若对任意的 $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix} \in J_A$ 均有 $x_i = -1$,则称 i 为一个(关于 A 的)绝对故障单元;如果对部分 $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix} \in J_A$ 有 $x_i = -1$,而对其余的 $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix} \in J_A$ 有 $x_i = 1$,则称 i 为一个(关于 A 的)相对故障单元. 由所有(关于 A 的)绝对故障单元组成的集合,称为(关于 A 的)绝对故障基,记作 T_A,即

$$T_A = \left\{ t \in \{1, \cdots, n\} \;\middle|\; \text{对任意的 } x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix} \in J_A \text{ 有 } x_t = -1 \text{ 成立} \right\}.$$

定理 5 设 $A = (a_{ij})_{n\times n}$为一个 n 维的 PMC 故障模型,我们有

(i) 若$\{i_1, \cdots, i_l\}$为一个(关于 A 的)故障集团,则对任意的 $\lambda \in \{i_1, \cdots, i_l\}$,$\lambda$ 为(关于 A 的)绝对故障单元;

(ii)(关于 A 的)绝对故障基 T_A 恰为 A 的所有故障集团之并.

证明 (i)之结论可由定义 3 推论之注与定义 4 直接得到,故只需证(ii).

我们把$\{1, \cdots, n\}$划分为若干集团:$\{1, \cdots, n\} = \bigcup_{l=1}^{k} B^{(l)}$,其中 $B^{(l)} = \{u_{l1}, \cdots, u_{lp_l}\}(1 \le l \le k)$. 对任意的 $\lambda \in T_A$,不妨设 $\lambda \in B^{(1)}$. 依定义 3 之推论及推论之注,$B^{(1)}$为一个故障集团,故 T_A 恰由 A 的所有故障集团所组成.

定义 5 设 A 为一个 n 维的 PMC 故障模型,$i_1, \cdots, i_l \in \{1, \cdots, n\}$两两相异. 若对任意 $p, q \in \{1, \cdots, l\}$,当 $p \ne q$ 时有 $a_{i_pi_q} = a_{i_qi_p} = 0$,则称$\{i_1, \cdots, i_l\}$为一个(关于 A 的)独立点集. 又若

(i) $j_1, \cdots, j_m \in \{1, \cdots, n\}$两两互异,$\{j_1, \cdots, j_m\} \supset \{i_1, \cdots, i_l\}$;

(ii) $m = n$(即$\{j_1, \cdots, j_m\} = \{1, \cdots, n\}$),或"$\forall p \in \{j_1, \cdots, j_m\} \setminus \{i_1, \cdots, i_l\}, \exists q \in \{i_1, \cdots, i_l\}, st.$ '$a_{pq} \ne 0 \vee a_{qp} \ne 0$'".

则称$\{i_1, \cdots, i_l\}$为$\{j_1, \cdots, j_m\}$中的一个(关于 A 的)极大独立点集.

定理 6 设 A 为一个 n 维的 PMC 故障模型,其元素 $a_{ij} \in \{0, -1\}$. 对于 A 中任意一个(关于 A 的)独立点集$\{i_1, \cdots, i_l\} \subset \{1, \cdots, n\}$,令 $x_{\{i_1, \cdots, i_l\}} = \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix}$ ($x_k = 1$ 当且仅当 $k \in \{i_1, \cdots, i_l\}$,而其余的 $x_k = -1$),称 $x_{\{i_1, \cdots, i_l\}}$为 A(关于$\{i_1, \cdots, i_l\}$)的一个特征解. 则 $J_A = \{x_{\{i_1, \cdots, i_l\}} \in X_n \mid \{i_1, \cdots, i_l\}$为$\{1, \cdots, n\}$中(关于 A 的)独立点集$\} \cup \left\{\begin{pmatrix} -1 \\ \cdots \\ -1 \end{pmatrix}\right\}$.

证明 设$\{i_1, \cdots, i_l\}$为任意一个(关于 A 的)独立点集,$x_{\{i_1, \cdots, i_l\}} = \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix}$,则对任意的 $i, j \in \{1, \cdots, n\}$,

(i) 若 $i \in \{1, \cdots, n\} \setminus \{i_1, \cdots, i_l\}$,则 $x_i = -1$,式(1)成立;

(ii) 若 $i, j \in \{i_1, \cdots, i_l\}$,则由独立点集的定义知 $a_{ij} = 0$,式(1)仍然成立;

(iii) 若 $i \in \{i_1, \cdots, i_l\}$而 $j \in \{1, \cdots, n\} \setminus \{i_l, \cdots, i_l\}$,则 $x_i = 1, x_j = -1$,代入式(1)得 $a_{ij}^2(1 + a_{ij})^2 = 0$. 已知 $a_{ij} \in \{0, -1\}$,所以式(1)退化为 $0 = 0$,成立;

综合(i)—(iii)得,式(1)对任意的 $i, j \in \{1, \cdots, n\}$总是成立的,故 $x_{\{i_1, \cdots, i_l\}} \in J_A$.

另一方面,对任意的 $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix} \in J_A$. 若 $x_1, \cdots, x_n$ 不全为 -1,设 $x_{i_1} = \cdots = x_{i_l} = 1$,而其余的 $x_k = -1$. 对任意的 $p, q \in \{i_1, \cdots, i_l\}$,当 $p \ne q$ 时,因 $x \in J_A$,故 $(1 + x_{i_p}) a_{i_pi_q}(a_{i_pi_q} - x_{i_q}) = 0$. 将 $x_{i_p} = x_{i_q} = 1$ 代入上式得 $a_{i_pi_q}(a_{i_pi_q} - 1) = 0$. 已知 $a_{i_pi_q} \ne 1$,故 $a_{i_pi_q} = 0$. 此即说明$\{i_1, \cdots, i_l\}$为$\{1, \cdots, n\}$中的一个(关于 A 的)独立点集,由此可见 J_A 的完整性.

至此定理证毕.

综上所述,我们便可得到有关 PMC 故障模型方程诊断的四大步骤如下:

(i) 将$\{1, \cdots, n\}$划分为若干(关于 A 的)集团;

(ii) 求出 A 的绝对故障基 T_A 并设$\{1, \cdots, n\} \setminus T_A = \bigcup_{l=1}^{k} B^{(l)}$,其中 $B^{(l)} = \{u_{l1}, \cdots, u_{lp_l}\}(1 \le l \le k)$称为(关于 A 的)剩余集团;

(iii) 定义 $D = (d_{ij})_{k\times k}$并初始化为$\{0\}$;然后

```
for(i = 1; i <= k; i++)
  for(j = 1; j <= k; j++)
    if(∃ r ∈{1, …, p_i}, s ∈{1, …, p_j}
```

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$st.\ a_{u_{ir}u_{js}} = a_{u_{js}u_{ir}} = -1)\ d_{ij} = d_{ji} = -1$;

(iv) 求出 J_D 并且令

$$J_A = \left\{ \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix} \in X_n \middle| \ x_{u_{l1}} = \cdots = x_{u_{lp_l}} \ (1 \le l \le k), \begin{pmatrix} x_{u_{11}} \\ \cdots \\ x_{u_{k1}} \end{pmatrix} \in J_D, x_t = -1 (\forall t \in T_A) \right\}$$

则 J_A 即为 A 的诊断结果(亦即全体相容故障模式).

4　结束语

笔者对一般情形下的系统级故障模型得出方程诊断算法,尚属首次.这一思想不仅适用于 PMC 模型,也适用于 Chwa & Hakimi 模型、BGM 模型和 Malek 模型,可以得出类似结论.因篇幅所限,我们将另文专述.

参考文献:

[1] Preparate F P, Metze G, Chien R T. On the connection assignment problem of diagnosable system [J]. IEEE Trans On Electronic Computer, 1967, 16(12): 845 - 854.

[2] Bassi F, Gradoni F, Meastrini P. A theory of diagnosability without repair [J]. IEEE Trans Comput, 1976(C-25): 585 - 593.

[3] Chwa K Y, Hakimi S L. Scheme for fault-tolerant computing: a comparison of modularly redundant and t-diagnosable system [J]. Information Control, 1981, 49: 212 - 238.

[4] Malek M. Undirected graphs models for system-level fault diagnosis [A]. In proc. 7th symp [C]. Comput. Architecture, 1980. 31 - 35.

[5] Bianchini R P, Buskens W. Implementation of on-line distributed system-level diagnosis theory [J]. IEEE Trans Computer, 1992, 41(3): 616 - 625.

[6] Krzysztof D, Andrzej P. Globally optimal diagnosis in systems with random faults [J]. IEEE Trans Computer, 1997, 46(2): 200 - 204.

[7] 张大方,等. 基于集团的系统级故障诊断研究 [J]. 计算机学报 1998, 21(4): 308 - 314.

[8] ZHANG Dafang, XIE Gaogang, MIN Yinghua. Node grouping in system-level fault diagnosis [J]. Comput. Sci. & Technol. 2001, 16(5): 474 - 479.

作者简介:

宣恒农　男,1958 年生于江苏淮安,硕士,南京经济学院计算机科学与技术系教授,主要研究方向为网络系统故障诊断与非线性泛函.

张大方　男,1959 年生于上海,博士,湖南大学计算机与通信学院院长、博导、教授,主要研究方向为可信系统与网络.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net