

CIMS 生产线中缓冲区状态及可靠性分析

谭 民 疏松桂

(中国科学院自动化研究所 北京 100080)

张 立 龙

(郑州大学数学系 郑州 450052)

摘 要

CIMS 生产线中缓冲区的状态是分析 CIMS 生产线的关键,当缓冲区的容量增加时,缓冲区的状态增加,使系统的状态增加,给分析问题带来困难. 本文利用缓冲区状态之间的关系,把容量为 K 的缓冲区的 $K + 1$ 个状态简化为全空、不空不满、全满三个状态,并利用前后级工作站正常、故障所出现的四种情形,对 CIMS 生产线的可靠性问题进行了分析和研究,提出了三个状态简化的定理,得到了简化后三个状态之间的状态转移率,使得我们能够比较容易地分析 CIMS 生产线的可靠性问题.

关键词: 缓冲区,状态转移,故障,可靠性.

1、引言

计算机集成制造系统 (CIMS) 可靠性问题的研究在国内外已引起普遍重视,要保证系统正常的运行,生产线的可靠性问题是不可缺少的部分¹⁾.

CIMS 生产线可靠性研究最关键的问题是缓冲区状态的分析. 文献[1]把缓冲区的状态分解为空、满、不空、不满四个状态,然后让它与相应的工作站构成一等效工作站,进而分析整个串行生产线的可用度. 流平衡方法²⁾对缓冲区的状态问题也进行过讨论,但当缓冲区容量增大时,计算量仍然很大. 文献[2]对多级生产线问题进行了分析,得到了比较好的结果.

本文对缓冲区的状态进行了研究,分析缓冲区中状态之间的相互关系,利用内部的特点,考虑与缓冲区相连的前后级工作站的工作情况与故障情况,对缓冲区的状态进行处理,使问题的研究变得简洁了.

2、缓冲区状态分析

CIMS 生产线的可靠性由于缓冲区的设置而提高,但是缓冲区容量的增加,缓冲区状

本文于 1991 年 4 月 26 日收到.

1) 郑应平主编,计算机集成制造系统论文集,中国科学院自动化所,1989.

2) 疏松桂主编,计算机集成制造系统(CIMS)局部网络可靠性研究,研究成果汇编,中国科学院自动化所,1991.

态的增加,使得生产线可靠性问题复杂了。设缓冲区 B 的容量为 K 。相连的工作站 M_i 的生产率为 ω_i ,失效率为 λ_i ,修复率为 μ_i ,且均服从指数分布,其结构如图 1。

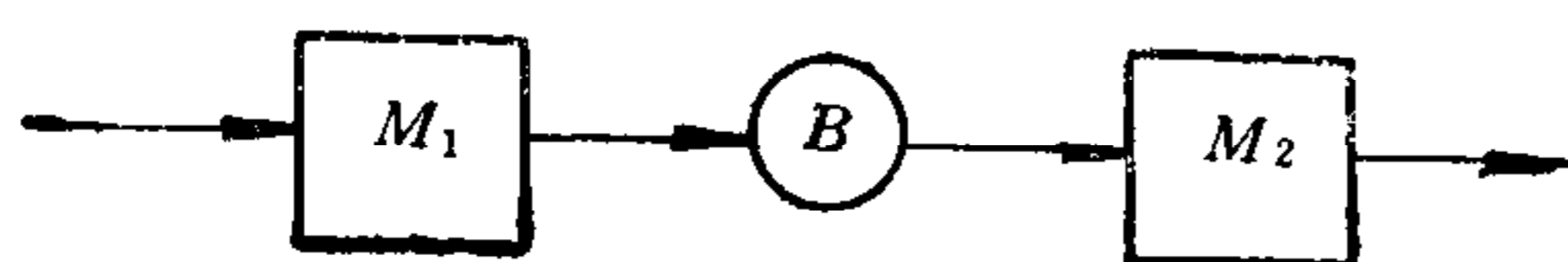


图 1 生产线连接结构

生产线的运行状态为:

M_1, M_2 都正常工作时,
缓冲区全空(概率 $P_{0,0}$), 缓冲区有一个工件 ($P_{0,1}$),
.....

缓冲区有 $K-1$ 个工件 ($P_{0,K-1}$), 缓冲区全满 ($P_{0,K}$);
 M_1 工作、 M_2 故障时,
缓冲区全空(概率 $P_{1,0}$), 缓冲区有一个工件 ($P_{1,1}$),
.....
缓冲区全满 ($P_{1,K}$);
 M_1 故障、 M_2 工作时,
缓冲区全空(概率 $P_{2,0}$), 缓冲区有一个工件 ($P_{2,1}$),
.....
缓冲区全满 ($P_{2,K}$);
 M_1, M_2 都故障时,
缓冲区全空(概率 $P_{3,0}$), 缓冲区有一个工件 ($P_{3,1}$),
.....
缓冲区全满 ($P_{3,K}$).

这样共有 $2^2(K+1)$ 个状态,其状态转移图如图 2 所示。

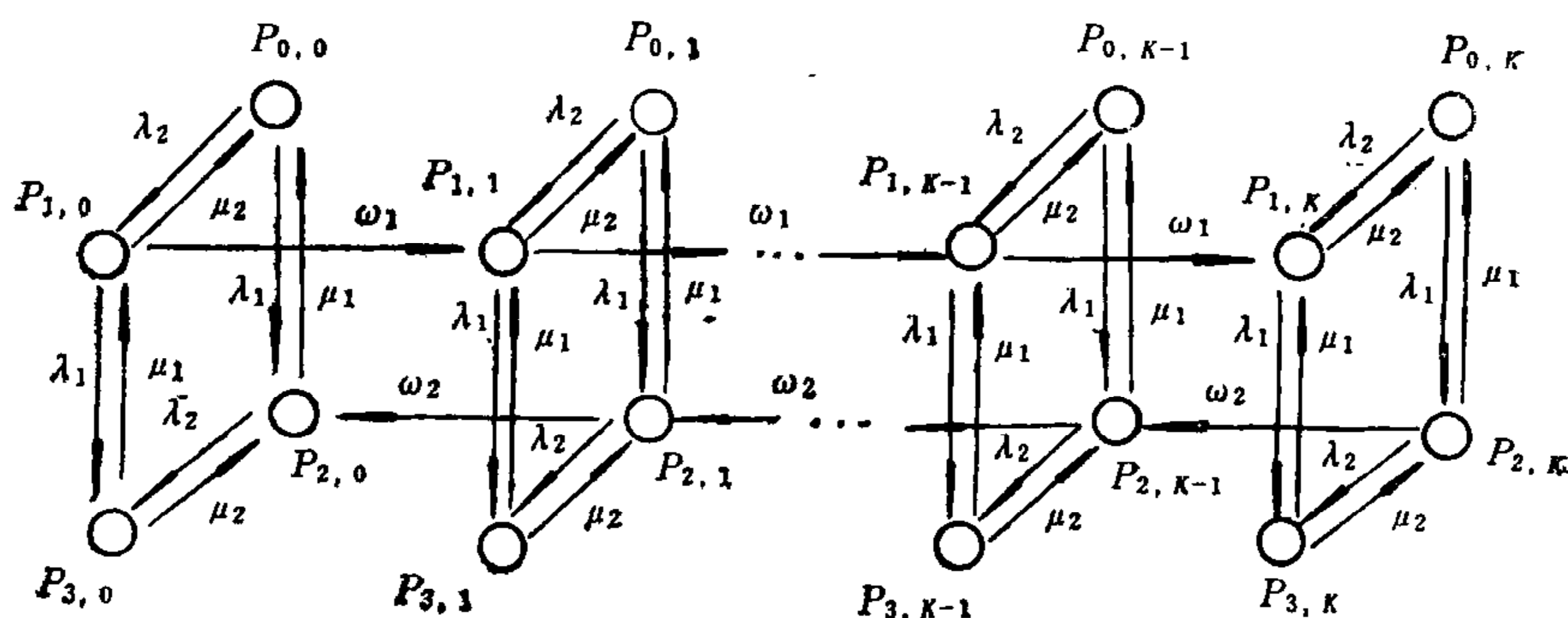


图 2 状态转移图

对这些状态可以列出它的状态方程:

全空状态

$$\begin{aligned} \dot{P}_{0,0} &= -(\lambda_1 + \lambda_2)P_{0,0} + \mu_2 P_{1,0} + \mu_1 P_{2,0}, \\ \dot{P}_{1,0} &= \lambda_2 P_{0,0} - (\lambda_1 + \mu_2)P_{1,0} + \mu_1 P_{3,0} - \omega_1 P_{1,0}, \\ \dot{P}_{2,0} &= \lambda_1 P_{0,0} - (\lambda_2 + \mu_1)P_{2,0} + \mu_2 P_{3,0} + \omega_2 P_{2,1}, \\ \dot{P}_{3,0} &= \lambda_1 P_{1,0} + \lambda_2 P_{2,0} - (\mu_1 + \mu_2)P_{3,0}; \end{aligned}$$

全满状态

$$\begin{aligned} \dot{P}_{0,K} &= -(\lambda_1 + \lambda_2)P_{0,K} + \mu_2 P_{1,K} + \mu_1 P_{2,K}, \\ \dot{P}_{1,K} &= \lambda_2 P_{0,K} - (\lambda_1 + \mu_2)P_{1,K} + \mu_1 P_{3,K} + \omega_1 P_{1,K-1}, \\ \dot{P}_{2,K} &= \lambda_1 P_{0,K} - (\lambda_2 + \mu_1)P_{2,K} + \mu_2 P_{3,K} - \omega_2 P_{2,K}, \\ \dot{P}_{3,K} &= \lambda_1 P_{1,K} + \lambda_2 P_{2,K} - (\mu_1 + \mu_2)P_{3,K}; \end{aligned}$$

中间状态

$$\begin{aligned} \dot{P}_{0,i} &= -(\lambda_1 + \lambda_2)P_{0,i} + \mu_2 P_{1,i} + \mu_1 P_{2,i}, \\ \dot{P}_{1,i} &= \lambda_2 P_{0,i} - (\lambda_1 + \mu_2)P_{1,i} + \mu_1 P_{3,i} + \omega_1 P_{1,i-1} - \omega_1 P_{1,i}, \\ \dot{P}_{2,i} &= \lambda_1 P_{0,i} - (\lambda_2 + \mu_1)P_{2,i} + \mu_2 P_{3,i} - \omega_2 P_{2,i} + \omega_2 P_{2,i+1}, \\ \dot{P}_{3,i} &= \lambda_1 P_{1,i} + \lambda_2 P_{2,i} - (\mu_1 + \mu_2)P_{3,i}; \\ i &= 1, 2, \dots, K-1. \end{aligned}$$

对于这一组微分方程,只要给定初始条件就可以进行求解。但是一般情况下,这组方程的求解是很困难的,特别是随着缓冲区容量 K 的增加,求解将更加困难。为此,对中间状态进行分析。

$$\text{令 } P_{i,h} = \sum_{j=1}^{K-1} P_{i,j} \quad (i = 0, 1, 2, 3),$$

把中间状态进行合并,得到

$$\begin{aligned} \dot{P}_{0,h} &= -(\lambda_1 + \lambda_2)P_{0,h} + \mu_2 P_{1,h} + \mu_1 P_{2,h}, \\ \dot{P}_{1,h} &= \lambda_2 P_{0,h} - (\lambda_1 + \mu_2)P_{1,h} + \mu_1 P_{3,h} + \omega_1 P_{1,0} - \omega_1 P_{1,K-1}, \\ \dot{P}_{2,h} &= \lambda_1 P_{0,h} - (\lambda_2 + \mu_1)P_{2,h} + \mu_2 P_{3,h} - \omega_2 P_{2,1} + \omega_2 P_{2,K}, \\ \dot{P}_{3,h} &= \lambda_1 P_{1,h} + \lambda_2 P_{2,h} - (\mu_1 + \mu_2)P_{3,h}. \end{aligned}$$

由此可以看到,经过一定的处理,所有的中间状态可以简化为一个状态,令这个状态为“不空不满”状态,那么原来缓冲区的 $K+1$ 个状态可以简化为缓冲区全空、缓冲区不空不满、缓冲区全满三个状态,状态转移图简化为图 3。

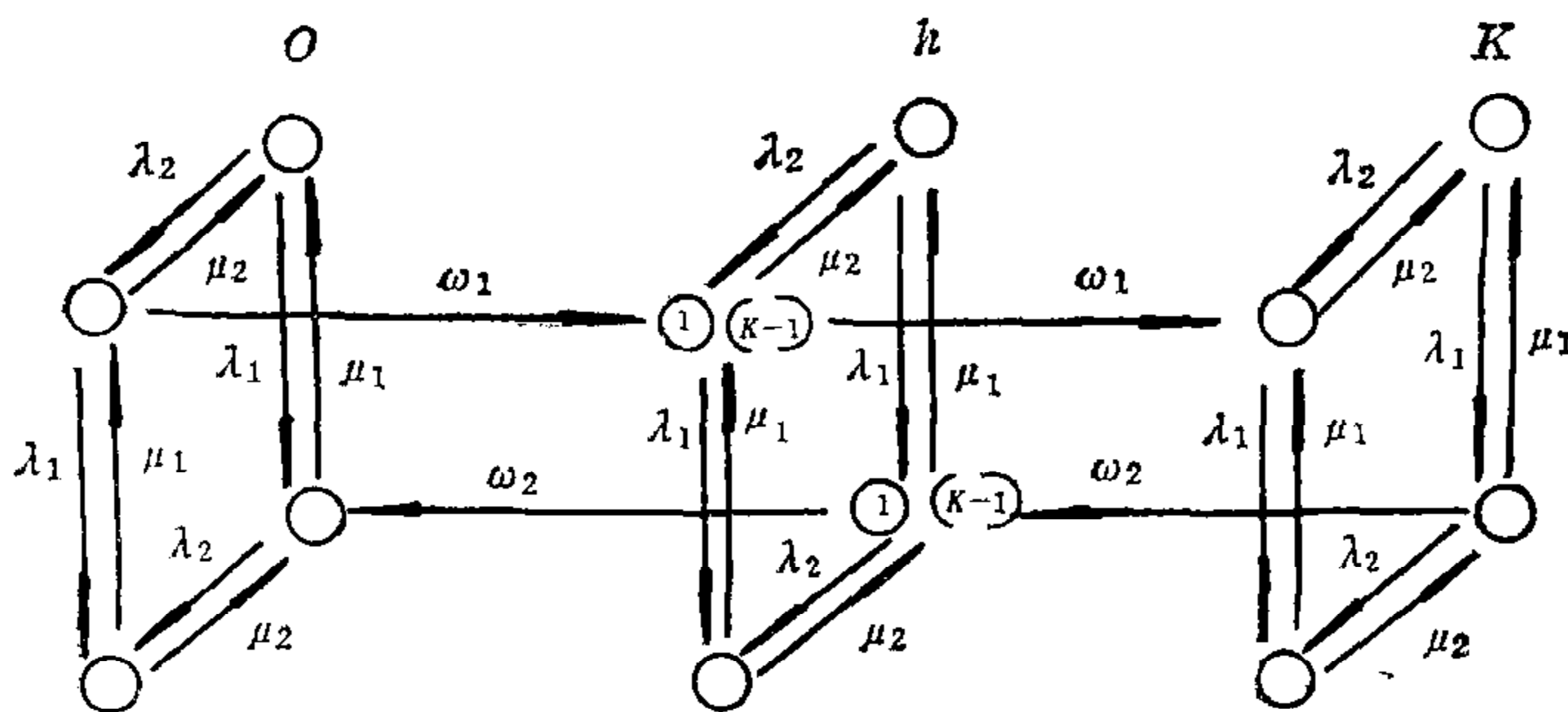


图 3 状态转移简化图

为了分析问题的方便,对缓冲区的状态要进一步处理。从上面的讨论中可以看到工作站 M_1, M_2 共有 2^2 个状态情形,即: M_1, M_2 都工作; M_1 工作、 M_2 故障; M_1 故障、 M_2 工作; M_1, M_2 都故障。

下面对这四种情形分别给以讨论.

1) M_1, M_2 都正常工作时,分两种情况讨论.

i) $\omega_1 > \omega_2$,

缓冲区 B 的状态为: 全空、有一个工件、有二个工件、...、有 $K - 1$ 个工件、全满. 状态转移情况如图 4(a) 所示.

状态方程为

$$\begin{aligned} \dot{P}_1 &= \omega_1 P_0 - \omega_1 P_1, \quad \dot{P}_2 = \omega_1 P_1 - \omega_1 P_2, \\ &\dots\dots, \\ \dot{P}_{K-1} &= \omega_1 P_{K-2} - \omega_1 P_{K-1}, \quad \dot{P}_K = \omega_1 P_{K-1} - \omega_1 P_K e^{-\omega_1 t}. \end{aligned}$$

讨论稳态情况时,令 $\dot{P}_i = 0 (i = 1, 2, \dots, K)$, 且利用 $\sum_{i=0}^K P_i = 1$, 可以得到

$$(1 + K e^{-\omega_1 t}) P_K = 1.$$

稳态时 $t \rightarrow \infty$, 则 $P_K \rightarrow 1$, 这就是说当前级生产率高于后级生产率时,缓冲区在稳态时始终处于全满的状态,这时 M_1, M_2 仍在工作,生产线仍处于正常工作状态.

ii) $\omega_1 < \omega_2$,

缓冲区 B 的状态转移为图 4(b).

状态方程为

$$\begin{aligned} \dot{P}_0 &= -\omega_2 e^{-\omega_2 t} P_0 + \omega_2 P_1, \quad \dot{P}_1 = -\omega_2 P_1 + \omega_2 P_2, \\ &\dots\dots, \quad \dot{P}_{K-1} = -\omega_2 P_{K-1} + \omega_2 P_K. \end{aligned}$$

讨论稳态情况时可以得到

$$(1 + K e^{-\omega_2 t}) P_0 = 1,$$

稳态时 $t \rightarrow \infty$, $P_0 \rightarrow 1$. 就是说当后级生产率高时,稳态情况下缓冲区始终处于全空状态,由于 M_1, M_2 仍在工作,所以生产线仍处于正常工作状态.

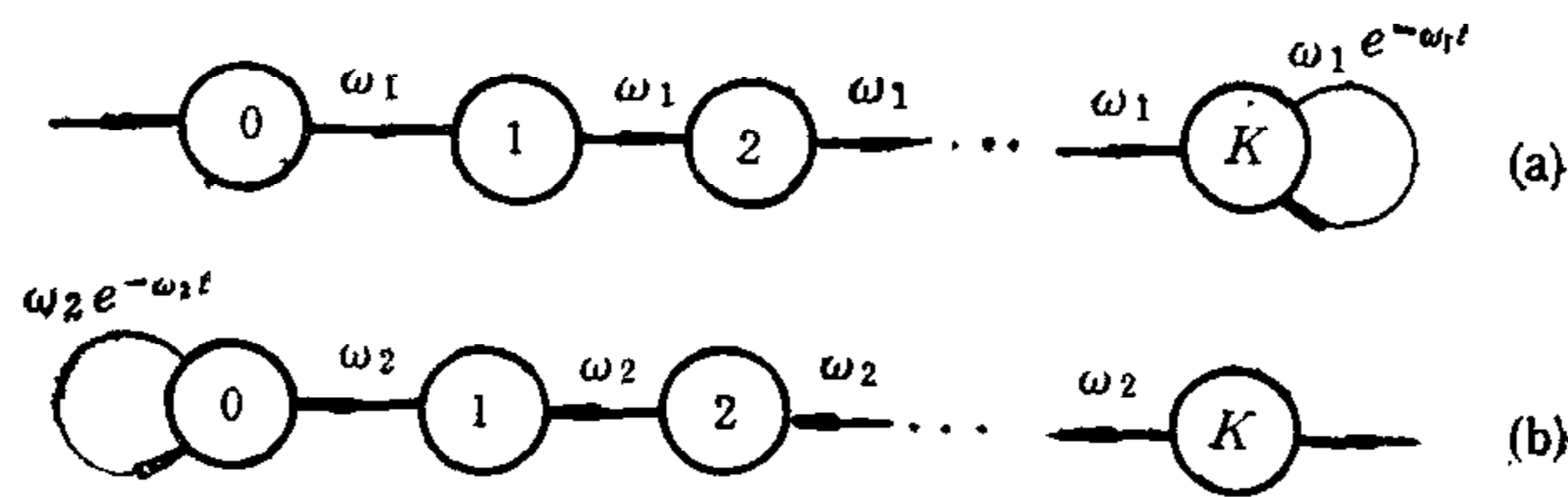


图 4 $M_1 M_2$ 正常工作时的状态转移
(a) $\omega_1 > \omega_2$ (b) $\omega_1 < \omega_2$

定理 1. 当生产率分别为 ω_1 和 ω_2 的工作站 M_1, M_2 都正常工作时,在稳态情况下缓冲区 B 的状态为: i) $\omega_1 > \omega_2$ 时,处于全满状态; ii) $\omega_1 < \omega_2$ 时,处于全空状态. 无论哪一种情形,生产线始终处在正常工作状态.

2) 当 M_1 工作, M_2 故障时,缓冲区的状态如图 5(a) 所示.

状态方程为

$$\begin{aligned} \dot{P}_1 &= \omega_1 P_0 - \omega_1 P_1, \quad \dot{P}_2 = \omega_1 P_1 - \omega_1 P_2, \\ &\dots\dots, \quad \dot{P}_K = \omega_1 P_{K-1} - \omega_1 P_K. \end{aligned}$$

对稳态情况

$$P_K = P_{K-1} = \dots = P_1 = P_0.$$

对不空不满的状态

$$P_h = \sum_{j=1}^{K-1} P_j = (K-1)P_0,$$

所以 P_1, P_{K-1} 与 P_h 的关系为

$$P_1 = P_h / (K-1), P_{K-1} = P_h / (K-1).$$

简化后的三个状态如图 5(b) 所示.

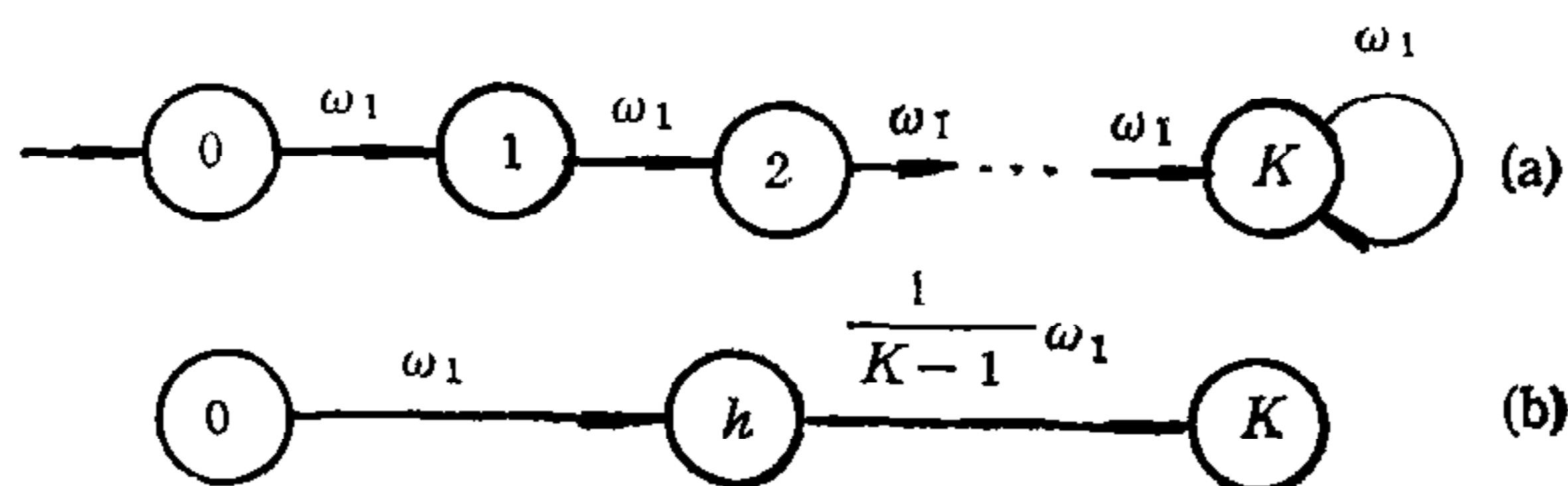


图 5 M_1 工作 M_2 故障时的状态转移
(a) 通常转移 (b) 简化图

定理 2. 当生产率为 ω_1 的工作站 M_1 正常工作, 工作站 M_2 故障时, 容量为 K 的缓冲区 B 的状态可简化为全空、不空不满、全满三个状态, 并且从“全空”到“不空不满”的转移率为 ω_1 ; 从“不空不满”到“全满”的转移率为 $\omega_1 / (K-1)$.

3) 当 M_1 故障, M_2 工作时, 缓冲区的状态如图 6(a) 所示.

状态方程为

$$\begin{aligned} \dot{P}_0 &= -\omega_2 P_0 + \omega_2 P_1, & \dot{P}_1 &= -\omega_2 P_1 + \omega_2 P_2, \\ &\dots\dots\dots, & \dot{P}_{K-1} &= -\omega_2 P_{K-1} + \omega_2 P_K. \end{aligned}$$

对稳态情况

$$P_0 = P_1 = P_2 = \dots = P_K,$$

对不空不满的状态

$$P_h = \sum_{j=1}^{K-1} P_j = (K-1)P_0,$$

所以 P_1, P_{K-1} 与 P_h 的关系为

$$P_1 = P_h / (K-1), P_{K-1} = P_h / (K-1).$$

简化后的三个状态如图 6(b) 所示.

定理 3. 当生产率为 ω_2 的工作站 M_2 正常工作, 工作站 M_1 故障时, 容量为 K 缓冲区 B 的状态可以简化为全空、不空不满、全满三个状态, 并且从全满状态到

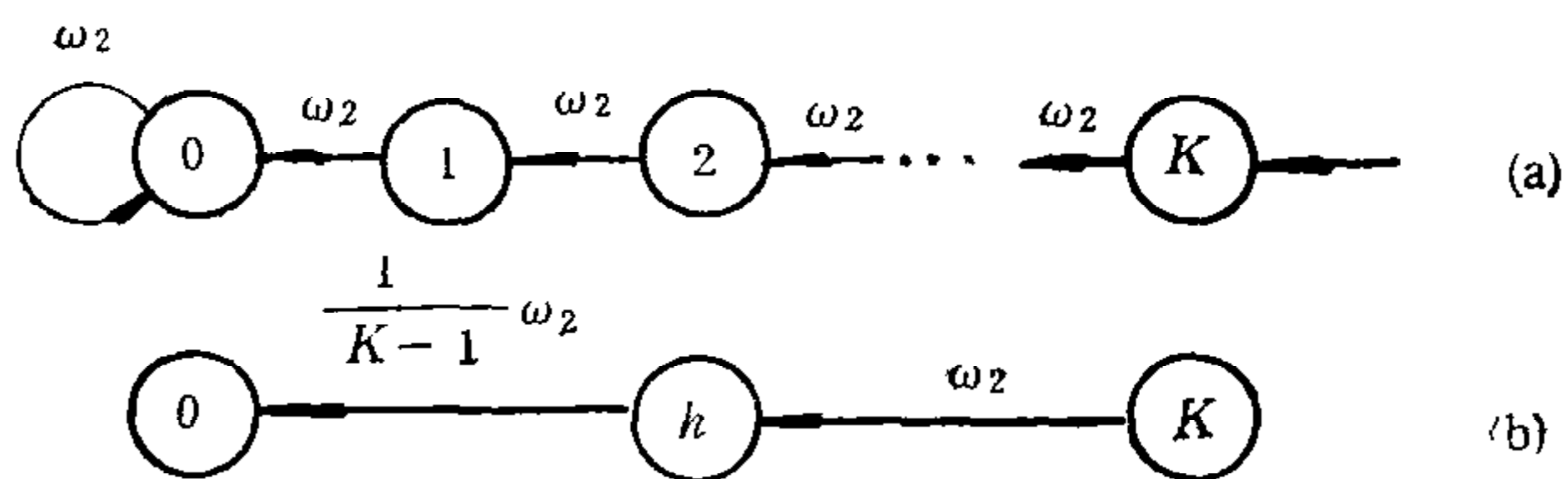


图 6 M_1 故障 M_2 工作时的状态转移图
(a) 通常转移 (b) 简化图

不空不满状态的转移率为 ω_2 , 从不空不满状态到全空状态的转移为 $\omega_2/(K-1)$.

4) M_1, M_2 都故障的情形

在工作站 M_1, M_2 都故障时, 缓冲区的状态是不发生转移的, 因此缓冲区的状态当然可以简化为全空、不空不满、全满三个状态.

3、结束语

本文首先对缓冲区及其前后工作站的状态进行了详细的分析, 利用状态之间的相互关系对状态进行处理, 把容量为 K 的缓冲区 $K+1$ 个状态简化为全空、不空不满、全满三个状态, 并对简化后三个状态的转移率进行了分析, 使问题大简化. 最后针对前后级工作站的四种状态情形对缓冲区状态的转移进行了分析, 得到了状态转移率, 给出了状态简化的三个定理.

CIMS 生产线的可靠性问题最重要的是处理缓冲区状态问题, 状态处理的好坏直接影响到分析问题的复杂程度, 利用上面分析的结果, 可以对 CIMS 生产线的可靠性指标进行分析和研究¹⁾.

参 考 文 献

- [1] 疏松桂. 带有缓冲库的综合制造系统 (CIMS) 分析及其可靠性研究. 自动化学报, 1992, 18(1): 15—22.
[2] 谭民. 多级 CIMS 生产线的可靠性分析. 信息与控制, 1991 年增刊.

THE STATES OF BUFFER AND RELIABILITY ANALYSIS ON CIMS PRODUCTION LINE

TAN MIN SHU SONGGUI

(Institute of Automation Academia Sinica Beijing 100080)

ZHANG LILONG

(Department of Mathematics Zheng Zhou University 450052)

ABSTRACT

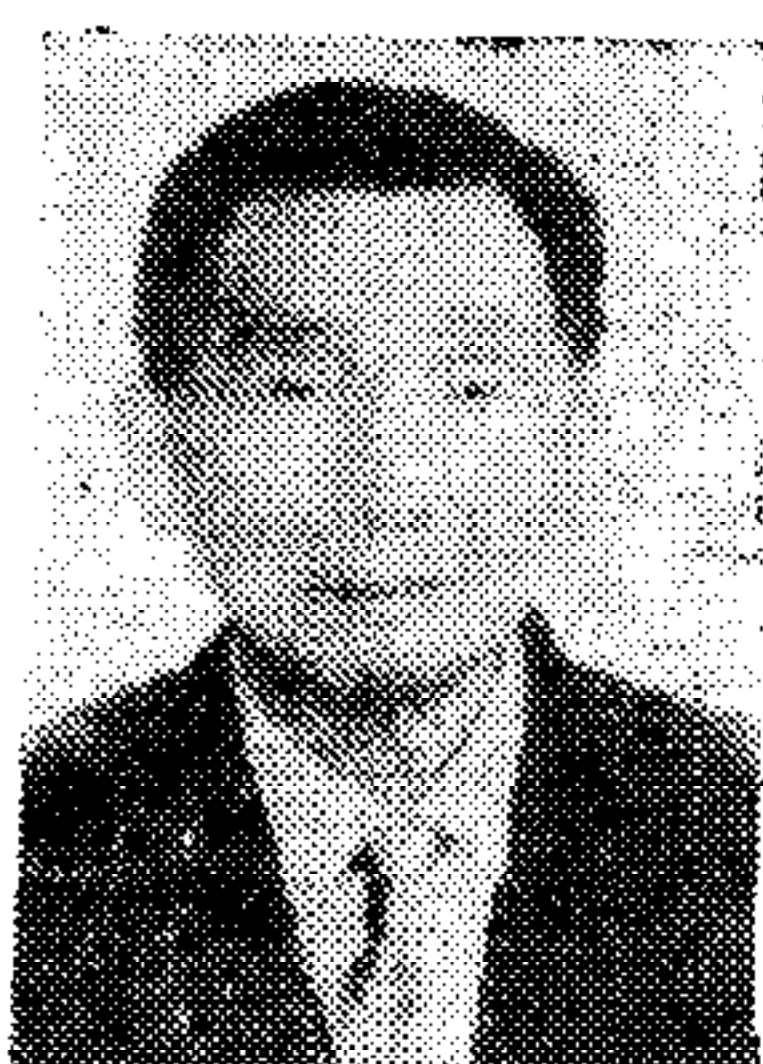
The key to the reliability of CIMS production lines is to analyze the states of buffer. When the capacity of buffer increases, the complexity of analyzing the production line increases too. This paper presents the state-simplifying method. First, we analyze the states of the buffer and the work stations, simplify the $K+1$ states of buffer, whose capacity is K , into three states: "empty", "non-empty, non-full" and "full". Then we discuss the state transition rate under four case of the work stations to get three theorems of the state-simplifying.

Key words: buffer; state transition; fault; reliability.

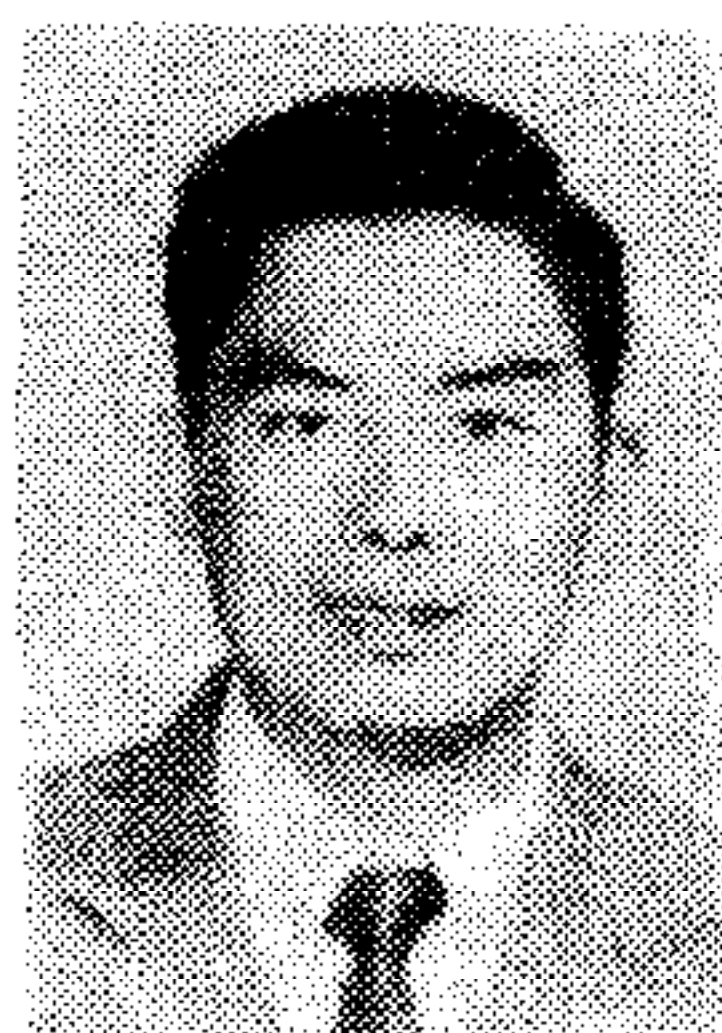
1) 谭民. 带缓冲区的两级 CIMS 生产线的可靠性分析. 第七届全国系统与控制暑期青年讨论会论文集, 广东江门, 1991, 8.



谭 民 1986年毕业于清华大学自动化系,获工学学士,1990年获中国科学院自动化所工学博士。感兴趣的领域有控制系统故障诊断、控制系统可靠性、CIMS 可靠性以及神经元网络等。



疏松桂 1919 年生于安徽省桐城县,1939 年毕业于武汉大学电机系,1949 年在美国田纳西大学获硕士学位,1951—1953 年在美国麦克公司任电气工程师,1954—1955 年在美国电气控制器制造厂任发展工程师,1960—1978 年在二机部北京九所自动控制室任主任、九院设计部副主任、五所副所长,负责核武器自动引爆控制系统的研制。1956—1960 年及 1978 年至今,在中科院自动化所任研究员(前副所长)、博士导师。主要从事天文卫星姿态控制系统、工业自动控制系统及其可靠性的研究。曾获国家科学技术进步特等奖和国家老有所为精英奖。



张立龙 1967 年毕业于华东师范大学数学系,1981 年获郑州大学数学系理学硕士,现为副教授。一直从事现代控制理论的研究和实际应用,近年来致力于最优控制应用理论以及东海海洋温跃层机制的研究。