

一种光电混合型专家系统专用机 OEHCES

申铨京 申铨国

(吉林工业大学计算机系, 长春, 130025)

摘 要

本文基于在传统计算机上难以开发实时高效专家系统的事实, 提出了一种比较容易实现的光电混合型专家系统专用机 OEHCES. OEHCES 主要由主控机、知识库及光匹配器组成, 并利用一种改进的知识表示法和光匹配器, 部分解决在传统计算机中知识匹配速度慢的问题。

关键词: 专家系统专用机, 光信息处理, 光电混合系统。

一、引 言

目前, 大多数专家系统是在 Von Neumann 型计算机上依靠一组程序实现的^[1]. 随着专家系统的发展, 需要存储的知识日益增多, 以串行计算为基础的传统 Von Neumann 型计算机越来越不适应这类人工智能系统的开发. 为此, 人们研究各种并行结构的专用机. 由于这些专用机是基于一维的电子信号, 所以进一步提高并行度存在不少难以克服的困难. 而光计算系统具有全并行特点^[2], 适合于开发需要大量并行计算的人工智能系统. 但是由于受到技术(特别是光器件的发展水平)的限制, 全光计算系统较难实现^[2-5]. 为此, 本文提出了一种较容易实现的光电混合型专家系统专用机 OEHCES.

二、系统概述

专家系统是由知识获取、知识库、推理机、解释等部分组成. 其中在运行时最费时的部分是推理机中的知识匹配操作, 其执行时间要占整个推理过程的 90%^[6]. 这说明匹配操作是专家系统中的一个操作瓶颈. 解决这一瓶颈的途径之一是采用并行匹配技术. 要实现并行匹配需要硬件支持系统. 在 OEHCES 中, 并行匹配是由光匹配器来实现的.

OEHCES 系统框图如图 1 所示. 它主要由主控机、知识库及光匹配器等三个部分组成. 其中知识库由光盘、硬盘、多维存储器 (MDM)、译码器及控制器构成. 光盘是用于存储所有已建专家系统知识的条件部分; 硬盘用于存储所有知识的结论部分; MDM 是用来存储运行中的专家系统知识的条件部分; 译码器是用于不同知识表示之间的转换.

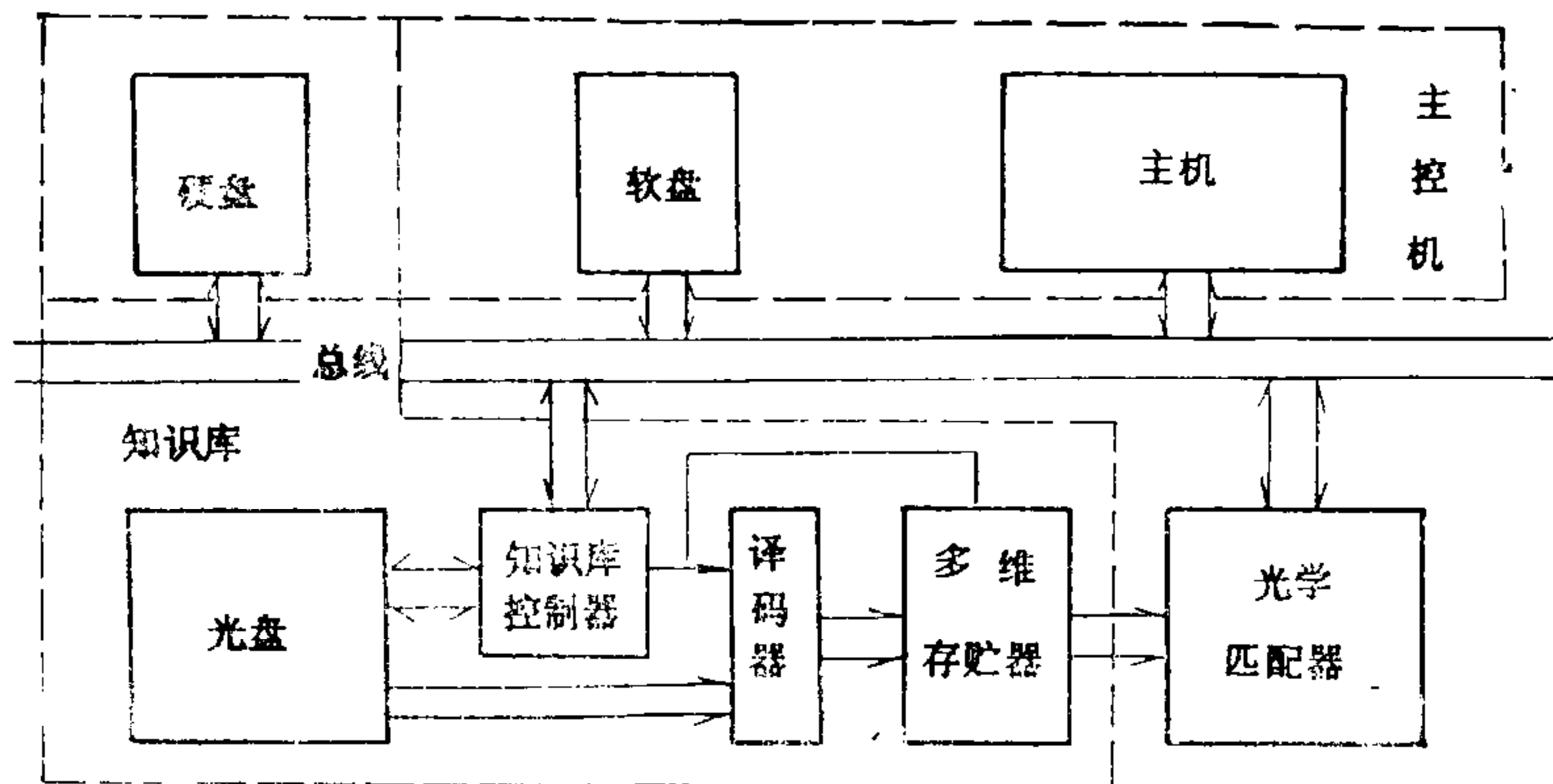


图1 OEHCES 系统框图

光匹配器是用于完成知识的并行匹配。主控机是由一台 16 位微型机构成，它与人交换信息并且协调知识库和光匹配器的工作。当主控机被启动并运行某一专家系统时，它首先控制光盘和 MDM 进行该专家系统知识条件部分形式的变换，并把结果存入 MDM。与此同时，该专家系统知识的结论部分存入到主控机的内存。这些初始化工作结束后，该专家系统可以开始工作。

三、光匹配器

1. 知识表示

在专家系统中使用的知识表示方法有很多种，如逻辑、语义网络、框架、产生式等。其中产生式表示方法，由于具有自然性、模块性、灵活性及通用性等特点，经常被采用。在 OEHCES 中，为了适应光匹配器操作的需要，知识表示采用类产生式表示方法。

任何一条知识 KS_i ，可用产生式表示成如下形式：

$$KS_i: \text{IF}[\text{cond}_{i,1} \wedge \text{cond}_{i,2} \wedge \cdots \wedge \text{cond}_{i,j} \wedge \cdots \wedge \text{cond}_{i,n_i}], \\ \text{THEN}[\text{con}_{i,1}, \text{con}_{i,2}, \cdots, \text{con}_{i,j}, \cdots, \text{con}_{i,m_i}].$$

其中 $\text{cond}_{i,j}$ 表示第 i 条知识的第 j 个条件， $\text{con}_{i,j}$ 表示第 i 条知识的第 j 个结论。为了方便，知识表示中只用“ \wedge ”（逻辑与）关系符。在这种情况下，可用两个集合表示一条知识，即 $KS_i: \theta_i \rightarrow \beta_i$ ，其中 $\theta_i = \{\text{cond}_{i,1}, \text{cond}_{i,2}, \cdots, \text{cond}_{i,j}, \cdots, \text{cond}_{i,n_i}\}$ ，称为 i 条知识的条件集， $\beta_i = \{\text{con}_{i,1}, \text{con}_{i,2}, \cdots, \text{con}_{i,m_i}\}$ ，称为 i 条知识的结论集。设某一专家系

统知识条数为 N ，则称 $T = \bigcup_{i=1}^N \theta_i = \{\text{cond}_1, \text{cond}_2, \cdots, \text{cond}_l, \cdots, \text{cond}_M\}$ 为该专家系统

条件集（其中 cond_l 是某个 $\text{cond}_{i,j}$ ，且 $l \leq \sum_{i=1}^{i-1} n_i + j$ ， M 为 T 的基数，即 $M = \#T$ ），而

$J = \bigcup_{i=1}^N \beta_i$ 为该专家系统结论集。

为了提高匹配效率，OEHCES 采用编码方案，即条件集和结论集的并映射到正整数集：

$$T \cup J \xrightarrow{\text{映射 } f} \{1, 2, \dots, M, \dots, \#(J \cup T)\}.$$

定义 1. 编码条件集 $cc_i; cc_i = \{I_1, \dots, I_j, \dots, I_{n_i}\}$, 其中 $I_j = f(\text{cond}_{i,j})$, $i = 1, 2, \dots, N$.

定义 2. 编码结论集 $cl_i; cl_i = \{K_1, \dots, K_j, \dots, K_{m_i}\}$, 其中

$$K_j = f(\text{con}_{i,j}), i = 1, 2, \dots, N.$$

定义 3. 条件向量 $cv_i; cv_i$ 是具有 M 个元素的向量, 即

$$cv_i = \{a_{i,1}, a_{i,2}, \dots, a_{i,j}, \dots, a_{i,M}\},$$

其中

$$a_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{cond}_j \notin \theta_i, \\ 1, & \text{cond}_j \in \theta_i. \end{cases}$$

定义 4. 条件阵列 $CA_i; CA_i$ 是一个由条件向量 $cv_{i \times M+1} \sim cv_{i \times M+M} (i = 0, 1, \dots, \lfloor N/M \rfloor)$ 组成的 $M \times M$ 的矩阵.

根据定义可知 cc_i, cl_i 及 cv_i 实际上是一种变形的产生式知识表示方法, 称为类产生式表示方法. 在 OEHCES 中, 存在知识库中的知识结论部分是以 cl_i 形式, 而条件部分是 cc_i 形式, 运行时转换成 cv_i 形式, 且以 CA_i 为单位进行匹配.

2. 并行匹配算法

在专家系统中所谓的知识匹配也就是用当前已知的 n 个条件, 在知识库中找出与之完全或冗余匹配知识的操作. 设已知条件集为 d .

定义 5. 完全匹配: 如果某一条知识的 $\theta_i = d$, 则称该条知识完全匹配.

定义 6. 冗余匹配: 如果某一条知识的 $\theta_i \subseteq d$, 则称该条知识冗余匹配.

定理 1. 如果 $\theta_i = d$, 即 i 条知识完全匹配, 则 $cv_i \oplus dv = 0$ (其中 dv 为已知条件集的条件向量).

定理 2. 如果 $\theta_i \subseteq d$, 即 i 条知识冗余匹配, 则 $cv_i \wedge \overline{dv} = 0$.

这两条定理的证明省略¹⁾. 根据以上定义和定理, 作者设计了对应于这两种匹配的算法.

算法 1. 冗余匹配算法

第一步. 把已知条件集 d 的编码集 $d' (= \{J_1, J_2, \dots, J_i, \dots, J_n\})$ 转换成条件向量 dv 的求反形式, $\overline{dv} = (\overline{v}_1, \overline{v}_2, \dots, \overline{v}_i, \dots, \overline{v}_M)$. 首先把 \overline{dv} 各位置 1, 然后对应 $J_i (i = 1, \dots, n)$ 的各位置 0;

第二步. 计算匹配度 $s_i, s_i = \bigcup_{j=1}^M (v_{i,j} \wedge \overline{v}_j)$, $i = 1, 2, \dots, N$, $v_{i,j}$ 为第 i 条知识条件向量的第 j 个元素;

第三步. 寻找那些 s_i 等于零的 i, i 就是冗余匹配知识的编码.

算法 1 是基于串行运算的匹配算法, 当 N 和 M 比较大时, 其运算量是相当大的, 从而降低匹配速度. 在 OEHCES 中, 采用并行匹配的方法.

1) 申铨京, 光计算机结构及光信息处理技术在 AI 中应用的研究, 哈尔滨工业大学博士论文, 1990 年 6 月.

算法 2. 并行匹配算法

第一步. 同算法 1, 另设 $I = 0$;

第二步. 把 \overline{dv} 扩展成 $M \times M$ 的矩阵,

$$DA = [b_{i,j}]_{M \times M}, \text{ 其中 } b_{ij} = \overline{v}_j (i = 1, 2, \dots, M);$$

第三步. 求 DA 和 CA_i 的按位“与” A ,

$$A = DA \wedge CA_i = [a_{i,j}]_{M \times M}, \text{ 其中 } a_{i,j} = b_{i,j} \wedge c_{i,j}, c_{i,j} \text{ 为 } CA_i \text{ 的元素};$$

第四步. 求各个知识的匹配度 $S_i, S_i = \bigcup_{j=1}^M a_{i,j}, i = 1, 2, \dots, M$;

第五步. 寻找 $S_i = 0$ 的 $i, I \times M + i$ 就是匹配知识的编号, 另外, $I \leftarrow I + 1$;

第六步. 如果 $I > \lfloor N/M \rfloor$, 则结束, 否则转到第三步继续进行.

这一并行匹配算法主要进行 $\lfloor N/M \rfloor$ 次并行“与”和“或”运算, 因此, 比串行匹配算法提高效率近 M^2 倍.

3. 光匹配器的实现

要实现上述的并行匹配算法, 需要对应的硬件支持. 这样的硬件支持系统可以用电子器件来实现, 但 M 值不能很大. 为此, 本文提出了用光匹配器实现并行匹配算法的方案. 这种方案具有容易实现并行算法中 \overline{dv} 的扩展、匹配度 s_i 的计算及并行按位“与”, 且 M 值受限制少等优点.

图 2(a) 是光匹配器实现框图, 它由一维 E-SLM、两个柱面镜 L_1 和 L_2 、并行“与”操

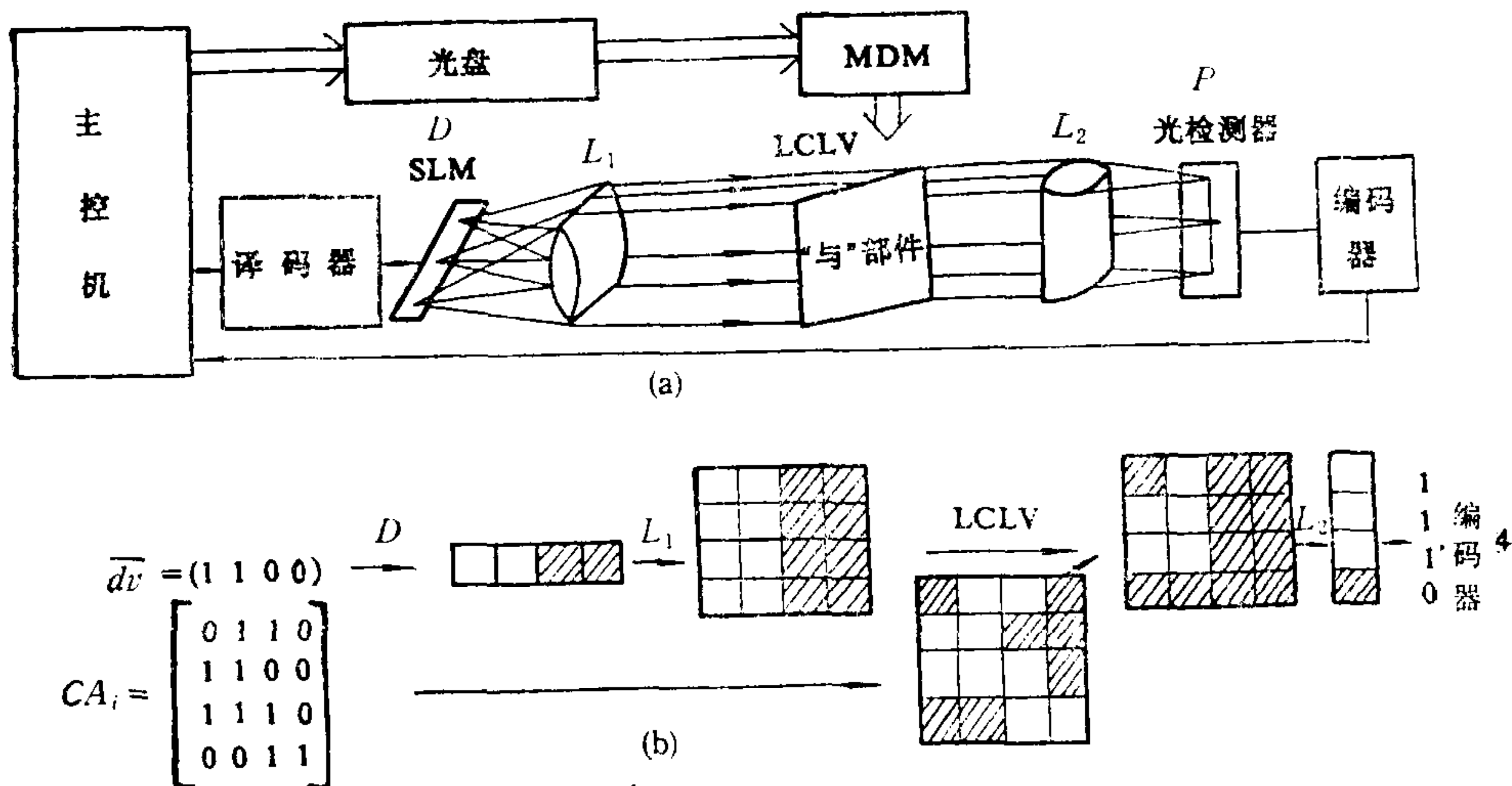


图 2 (a) 光匹配器框图, (b) 光匹配器工作过程示意图

作部件 LCLV (二进制液晶光阀)、光检测器 P、编码器等部分组成. 其中译码器把编码条件集 d' 转换成 \overline{dv} , E-SLM 把 \overline{dv} 变成亮暗光点向量, 而柱面镜 L_1 把这一光点向量扩展成 $M \times M$ 的光点阵列送给“与”操作部件 LCLV. LCLV 的另一端输入是多维存储器 MDM 送来的 CA_i 光点阵列, LCLV 中这两个光点阵列进行按位“与”. “与”结果经过柱面镜 L_2 压缩成垂直的光点向量(完成算法 2 第四步功能), 光检测器 P 把这一垂直的一维光点向量检测后, 转换成电信号送给编码器. 编码器的输出就是匹配知识的编号.

图 2 (b)是当 $M = 4$ 时的光匹配器工作过程示意图。

四、性能和可行性分析

1. 性能分析

图 3 是 OEHCES 并行匹配过程流程图,其中 T_i 表示执行该步所需的时间。这样,在知识条数为 N 的知识库中进行一次匹配所需时间 T 为

$$T = \sum_{i=1}^3 T_i + \lfloor N/M \rfloor \sum_{i=4}^9 T_i,$$

平均匹配速度 v 为

$$V = N/T$$

$$= N / \left(\sum_{i=1}^3 T_i + \lfloor N/M \rfloor \sum_{i=4}^9 T_i \right).$$

在目前技术条件下,当

$$N = 2048, M = 512$$

时, v 可达 4.79×10^6 条/秒。另外,OEHCES 并行匹配速度和传统计算机串行匹配速度的定量比较表明 OEHCES 显著地提高匹配速度 (见申铨京博士论文)。

2. 可行性分析

在 OEHCES 中,关键部分是多维存贮器 MDM 和光匹配器的实现。MDM 特点是双端口,它既可以按字节读写,又可以按位平面 ($M \times M$ bits) 读,实现起来并不太困难^[7]。在光匹配器中,关键部分是“与”操作部件和柱面镜,其中

“与”操作部件采用液晶光阀,使在目前的光器件中能构成较大阵列 (512×512 以上),但速度较慢。这样,液晶光阀的采用提高了 OEHCES 的可行性,但降低了性能指标。用两个柱面镜实现光点向量的扩展和压缩时,有可能出现光强不均匀等问题。但是由于在 OEHCES 中,只测有无开关信息,因此,实际实现中影响不大。

3. 实验结果

为了证实 OEHCES 方案的有效性,作者开发了 OEHCES 的实验模型 HOKPS¹⁾,并在 HOKPS 中进行了并行匹配和串行匹配比较实验,结果如表 1 所示。实验中使用的知

1) 作者博士论文。

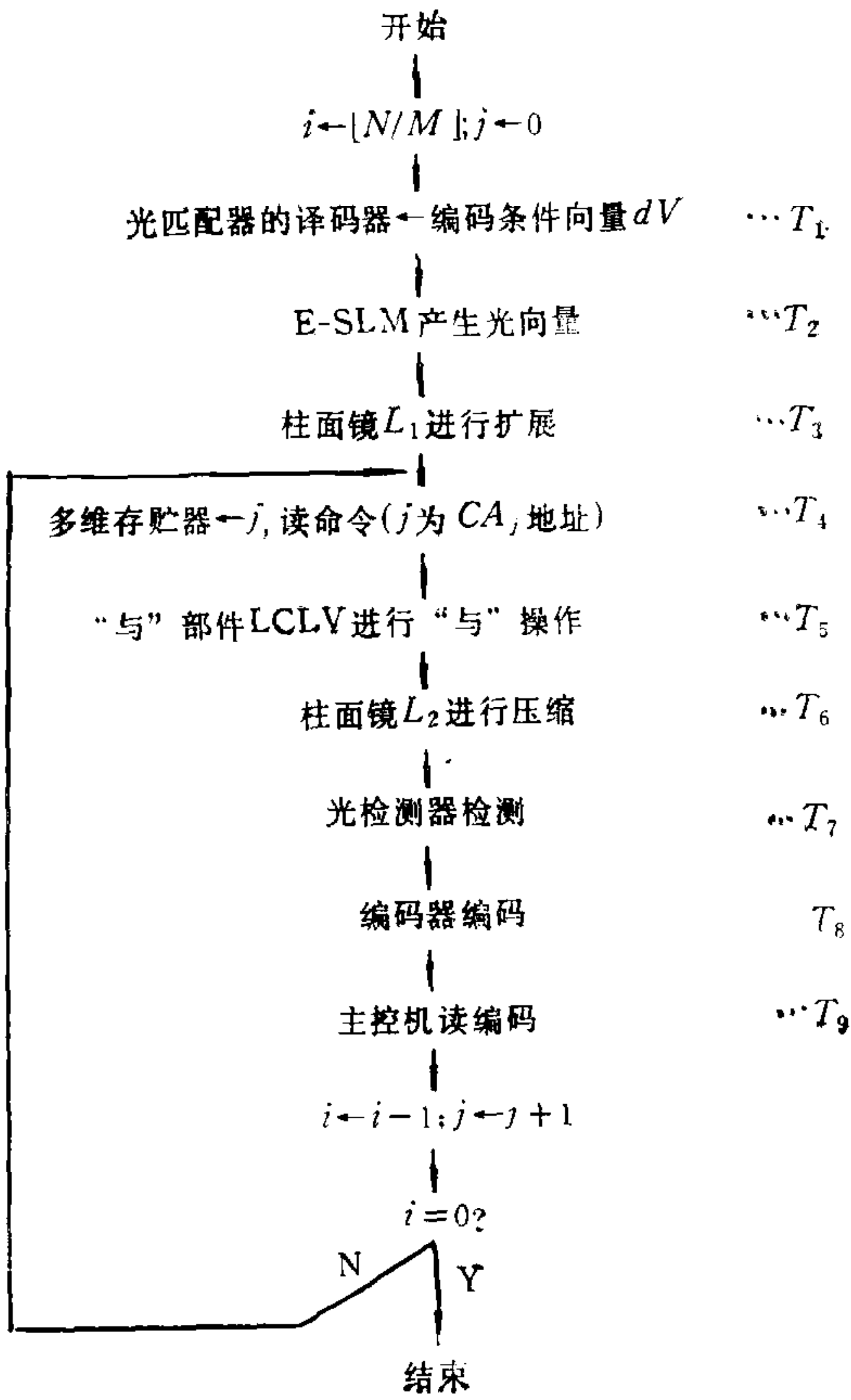


图 3 并行匹配流程图

表 1 串并行匹配时间比较实验结果 (单位 0.01秒)

n (知识条数)	11	17	45	57	60	71	82	93	104	115	126	137
并行匹配 T	0.71	1.04	2.75	3.35	3.52	4.12	4.84	5.55	6.26	6.87	7.58	8.24
索引匹配 T'	3.90	5.11	27.69	29.95	30.27	34.18	38.13	42.31	46.15	50.0	53.85	58.24
串行匹配 T''	3.90	8.13	53.57	74.56	81.76	116.26	156.59	212.25	254.95	313.19	376.92	446.15

识是邱祥辉硕士论文¹⁾中给出的有关确定立题报告优劣的知识, $M = 16$, 知识划分是靠知识本身的自然分类性划分. 表中给出用三种方法匹配 n 条知识所需时间. 从表 1 可以算出平均提高的效率为

$$\mu_1 = T''/T = 7.55 \text{ (倍)}, \mu_2 = T'/T = 30.46 \text{ (倍)},$$

显然效率是较高的.

五、结 束 语

在专家系统中, 知识匹配是操作瓶颈, 是提高专家系统效率和响应速度的关键之一. 采用并行匹配是解决这一操作瓶颈的主要途径. OEHCES 利用光信息处理的并行特点实现了匹配操作并行化硬件支持, 并采用了与此相适应的类产生式知识表示法及并行算法. 性能分析和实验表明 OEHCES 方案是有效的、可行的、合理的. 当然有些问题还需要进一步研究, 如知识表示中怎样体现可信度, 怎样进行不精确推理等问题.

本文的意义在于探讨了利用光信息处理技术解决目前开发高效人工智能应用系统时碰到的难题的途径. 研究结果表明这一途径是可行的.

参 考 文 献

- [1] 李勇、刘恩林, 计算机体系结构, 国防科技大学出版社, 1988年, 长沙.
- [2] Alastair, D. McAulay, Real-time Optical Expert Systems, *Applied Optics*, 26(1987), (10), 1927—1934.
- [3] Cardinal, Warde and James Kottas, Hybrid Optical Inference Machines: Architectural Considerations, *Applied Optics*, 25 (1986), (6), 940—947.
- [4] Hareld, H. S. and Caulfield, H. J., Optical Expert Systems, *Applied Optics*, 26 (1987), (10), 1943—1947.
- [5] Eichmann, G. and Caulfield, H. J., Optical Learning (Inference) Machine, *Applied Optics*, 24 (1985), (10), 2051—2054.
- [6] Forgy, C. L., Rete: A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem, *Art. Inte.*, 19 (1982), 17—37.
- [7] Kenneth, E. Batcher, The Multidimensional Memory in STARAN, *IEEE. Trans. on Computer*, 2(1977), 174—177.

1) 邱祥辉, 专家系统开发工具剖析及在辅助决策系统中应用, 哈尔滨工业大学硕士论文, 1989年1月.

AN OPTO-ELECTRIC HYBRID COMPUTER FOR EXPERT SYSTEM

SHEN XUANJING SHEN XUANGUO

(Jilin University of Technology, Changchun 130025 China)

ABSTRACT

This paper, based on the fact that it is hard to develop a real-time and efficient expert system on the conventional computer, proposes a scheme of an opto-electric hybrid computer for expert system (OEHCES) which can be realized easily. The OEHCES is consisted of three parts: main control machine, knowledge storehouse and the optical matcher, and uses a modified knowledge representation and the optical matcher to partially solution of the problem whose matching speed is too slow in the conventional computer.

Key words: computer for expert system; optical information processing; opto-electric hybrid computer.



申铨京 1958 年生于吉林。吉林工业大学计算机系副教授。1982 年, 1984 年, 1990 年在哈尔滨工业大学计算机科学与工程系分别获工学学士、硕士及博士学位。曾在吉林大学计算机科学系从事博士后研究工作。感兴趣的研究领域是人工智能与光信息处理、神经网络技术及其应用、图象处理与模式识别。

申铨国 1939 年出生, 1963 年毕业于吉林大学物理系, 1990 年作为高级访问学者在美国 Rose-Hulman 工学院进修一年。现为吉林工业大学应用物理系主任、教授, 全国光电专业教学指导委员会委员, 吉林省光学学会理事。目前研究方向有: 光学神经网络和光计算, 激光技术及其应用。