

采用阴影投射法实现的光学并行模糊逻辑

张树群 林森茂 陈彩生

(厦门大学电子工程系, 厦门 361005)

提要 本文提出了一种新的空间编码方法并利用阴影投射系统实现了光学并行模糊逻辑门。本系统可全光学并行实现模糊逻辑中的七种基本逻辑运算,并给出了实验结果。

关键词 模糊逻辑,阴影投射

Optical parallel fuzzy logic implementations using shadow-casting

ZHANG Shuqun, LIN Senmao, CHEN Caisheng

(Department of Electronic Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract A new spatial encoding method is presented to implement optical fuzzy logic gates by using shadow-casting. Seven kinds of fundamental fuzzy logic operations in parallel can be all optically realized with the proposed system in this paper. The experimental results are also given.

Key words fuzzy logic, shadow-casting

1 引言

模糊逻辑是模糊数学的一个很重要的分支,也为模糊计算机所采用。然而利用光学技术实现模糊逻辑却较为困难。Mada等人用液晶空间光调制器实现了连续值逻辑^[1];刘立人提出基于多重成像系统,用空间编码后取阈值的方法实现了光学模糊逻辑^[2];最近,刘树田等人采用由光电三极管、发光二极管和运算放大器构成的光电子混合回路也实现了模糊逻辑^[3]。但采用的实际上都是光电混合的实现方法,其运算速度必然受到电子器件的限制。

本文提出了一种新的空间编码方法并利用阴影投射系统(Shadow-casting system)实现了光学并行模糊逻辑门。模糊逻辑的七种基本运算可简单地通过改变LED开关模式的方法实现。

2 模糊逻辑的基本运算

模糊逻辑是形式化的连续值逻辑,其值本身是模糊的,即模糊逻辑变量允许取 $[0, 1]$ 之间的任何值。模糊逻辑变量 x 的逻辑表示用一个隶属函数 $\mu(x)$ 来表述: $\mu(x) \in [0, 1]$ 。为简单起

见,下面我们用模糊变量 A 和 B 代替隶属函数 $\mu(x)$ 和 $\mu(y)$,则根据模糊集合运算可定义出下列的模糊逻辑运算,并写成易于本文光学实现的形式:

- (1) 补 (Complement): $\bar{A} = 1 - A$;
- (2) 最小 (Minimum): $A \wedge B = \text{Min}(A, B)$;
- (3) 最大 (Maximum): $A \vee B = \text{Max}(A, B) = \text{Min}(A, B) + |A - B|$;
- (4) 对称差 (Absolute-Difference):

$$A \Delta B = |A - B| = \begin{cases} A - B, & A \geq B \text{ 时} \\ B - A, & A < B \text{ 时;} \end{cases}$$

- (5) 蕴涵 (Implication):

$$A \rightarrow B = 1 \wedge (1 - A + B) = \begin{cases} 1 = A + \bar{A}, & A < B \text{ 时,} \\ 1 - A + B = \bar{A} + B, & A \geq B \text{ 时;} \end{cases}$$

- (6) 限界差 (Bounded-Difference):

$$A \ominus B = 0 \vee (A - B) = \begin{cases} 0, & A < B \text{ 时,} \\ A - B, & A \geq B \text{ 时;} \end{cases}$$

- (7) 限界和 (Bounded-Sum):

$$A \oplus B = 1 \wedge (A + B) = \begin{cases} 1, & A + B \geq 1 \text{ 时,} \\ A + B = \text{Max}(A, B) + \text{Min}(A, B), & A + B < 1 \text{ 时;} \end{cases}$$

- (8) 限界积 (Bounded-Product):

$$A \otimes B = 0 \vee (A + B - 1) = \begin{cases} 0, & A + B < 1 \text{ 时} \\ A + B - 1, & A + B \geq 1 \text{ 时.} \end{cases}$$

其中,补,最小和最大是模糊逻辑运算中最基本的三种运算。模糊代数 $Z \in [0, 1]$, \wedge , \vee , $\bar{}$, $>$ 就是由这三种运算组成的系统。符号 \wedge , \vee 分别表示最小,最大和求补运算,符号 $+$, $-$ 分别表示加、减算术运算。任何模糊逻辑函数都可分解为这三种基本运算。任何模糊逻辑公式可化为析取范式和合取范式。

3 模糊逻辑的光学实现

阴影投射系统是由 J. Tanida 等人提出的一种实现并行光逻辑和数字光计算的系统^[4,5],它具有结构简单,可编程等优点。阴影投射系统是建立在几何光学基础上来实现数字光逻辑的,其核心是阴影的移位和叠加,因此需要预先对逻辑进行编码。同样为了实现模糊逻辑,我们需对模糊变量 A 和 B 分别编码。图 1(a) 和 (b) 给出了所采用的编码规则,图中阴影部分表示光不透过,白的部分表示光可透过。 A 和 B 分别被编码成具有五行的矩形区域。由于 A 和 B 只能在 $[0, 1]$ 之间取值,因此令每个矩形长度归一化为 1,则透光部分的长度就表示了模糊变量的值。图 1(c) 给出了编码后的 A 与 B 的重叠。从图中易看出,叠加相当于执行最小运算,因此从上到下的五行矩形就分别给出了 \bar{A} , $\text{Min}(A, B)$, $A \ominus B$, $B \ominus A$ 和 $\text{Min}(A, B)$ 。

实现模糊逻辑的阴影投射系统如图 2 所示。光源列阵由五个 LED 排列在同一列组成; A 与 B 的重叠置于输入面,在屏的位置上放一解码板。解码板的单元结构也应由五行矩形组成,其中一行为全透光,其它四行为不透光。被五个 LED 所照明的第 $a_{ij} \cdot b_{ij}$ 单元的阴影在屏上发生

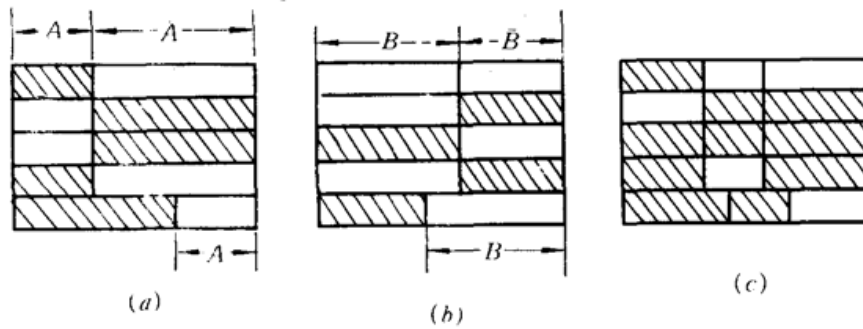


Fig. 1 The spatial encoding method for fuzzy variables

(a) the encoded fuzzy variable A; (b) the encoded fuzzy variable B; (c) the overlap of encoded A and B

错位, 叠加单元 P_{ij} 的值可用下式表示:

$$P_{ij} = [a \cdot \bar{A}] \oplus [\beta \cdot \text{Min}(A, B)] \oplus [\gamma \cdot A \ominus B] \oplus [\delta \cdot B \ominus A] \oplus [\varepsilon \cdot \text{Min}(A, B)] \quad (1)$$

式中的 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 和 ε 表示 LED 的开关状态, 取值 0 或 1, \oplus 为限界和。变化这五个 LED 的开关模式就可得到前面定义的前七种模糊逻辑运算。表 1 给出了 LED 的开关模式和对应完成的逻辑运算。

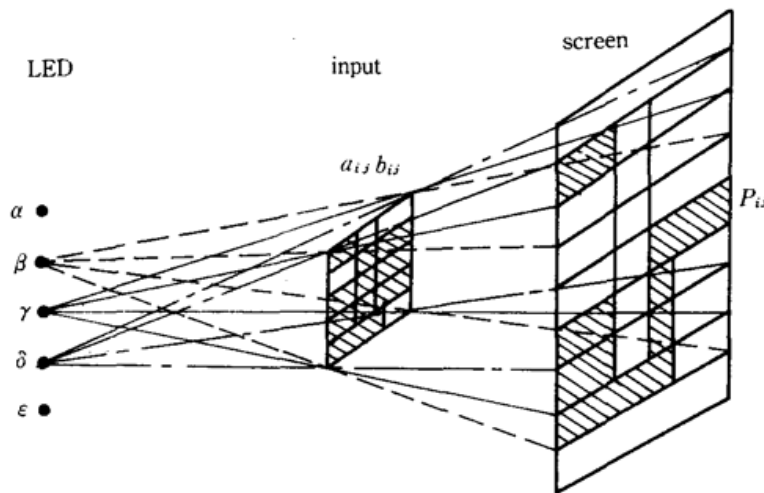


Fig. 2 The optical scheme for fuzzy logic based on shadow-casting

Table 1 The switching modes of LEDs and their corresponding operations

Name of implementation	α	β	γ	δ	ε
Complement	+	-	-	-	-
Minimum	-	+	-	-	-
Maximum	-	+	+	+	-
Absoluted-difference	-	-	+	+	-
Implication	+	+	-	-	-
Bounded-difference	-	-	+	-	-
Bounded-sum	-	+	+	+	+

Note: The symbols + and - represent the states of LEDs, on and off respectively.

由图 2 我们不难分析该系统是如何完成这些模糊逻辑运算的。运算的输出 P_{ij} 有可能出现

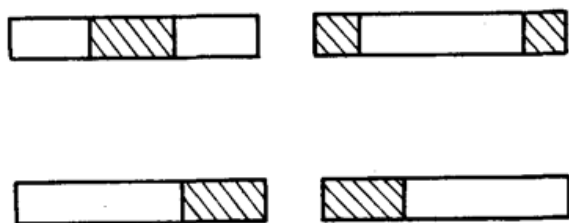
Fig. 3 The four possible outputs of P_{ij}

图 3 的四种情况。定义白(透光)的区域长度就是逻辑运算的输出值,不管该区域是出现在矩形单元的哪个位置上。可用条形的光电探测器检测其长度。

从(1)式易看出,实现补、最小这两种运算只需分别让对应的 LED 亮即可。

由于 A 可能大于 B 也可能小于 B ,当 $A \geq B$ 时, $|A - B| \neq 0$ 出现在第三行上,第四行为零;

$A < B$ 时,第三行为零, $|A - B| \neq 0$ 出现在第四行上。因此从第三行就得到了限界差运算 $A \ominus B$,而第四行得到了限界差 $B \ominus A$ 。把第三、四行同时投射到同一行上便实现了对称差 $A \Delta B$ 运算。

从公式 $\text{Max}(A, B) = \text{Min}(A, B) + |A - B|$ (或 $A \Delta B$) 看出,把 $\text{Min}(A, B)$ 和 $A \Delta B$ 同时投射到同一行上便可实现最大运算,所以需要三个 LED。

对于蕴涵运算,由 $A \rightarrow B = 1 \wedge (1 - A + B) = 1 \wedge (\bar{A} + B)$ 得,当 $A \geq B$ 时, $\text{Min}(A, B) = B$,则 $A \rightarrow B = \bar{A} + \text{Min}(A, B)$;当 $A < B$ 时, $\text{Min}(A, B) = A$,且 $\bar{A} > B$,因此, $\bar{A} + \text{Min}(A, B) = 1$ 。所以把第一和第二行投射在一起即实现了蕴涵运算。

限界和运算,由 $A \oplus B = 1 \wedge (A + B) = 1 \wedge [\text{Max}(A, B) + \text{Min}(A + B)] = 1 \wedge [\text{Min}(A, B) + A \Delta B + \text{Min}(A, B)]$ 可以看出,把第二、三、四、五行同时投射在一起便可实现该运算。

这样,通过简单地改变 LED 的开关模式,就实现了模糊逻辑的七种基本运算,第八种运算限界积 $A \odot B$ 在本系统下无法得到实现。采用本文的编码方法, \bar{B} 亦不能得到实现,但如果编码单元再增加一行, \bar{B} 就可得到实现。由于本系统是采用开关 LED 而得到对应的逻辑运算的,因此系统属于单指令多数据流结构,不可能同时实现多种运算。

4 实验验证

采用两幅 4×4 的图像作为输入,数据如图 4 所示。实验中的各参数如下,编码单元的每个矩形长度为 10 mm,高度为 2 mm,相邻两个 LED 间距为 6 mm,LED 阵列到输入平面与输入面到解码板的距离分别是 60 cm 和 30 cm。

0.2	0.2	0.2	0.2	0.6	0.4	0.4	0.4
0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.4	0.4
0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4
0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6

Fig. 4 Two images used in experiment

编码后的 A 和 B , A 与 B 的重叠分别如图 5(a), (b) 和 (c) 所示。实验结果 \bar{A} , $\text{Min}(A, B)$, $\text{Max}(A, B)$, $A \Delta B$, $A \ominus B$, $A \oplus B$ 和 $A \rightarrow B$ 分别在图 5(d), (e), (f), (g), (h), (i) 和 (j) 中给出。

总之,为实现七种运算需要每个编码单元有五行矩形。若仅实现最小和最大运算,只需三行矩形。对实现某一特定运算,编码单元还可简化。但系统还存在每次只能并行实现一种逻辑运算;不能串联实现;需要预先编码等缺点。

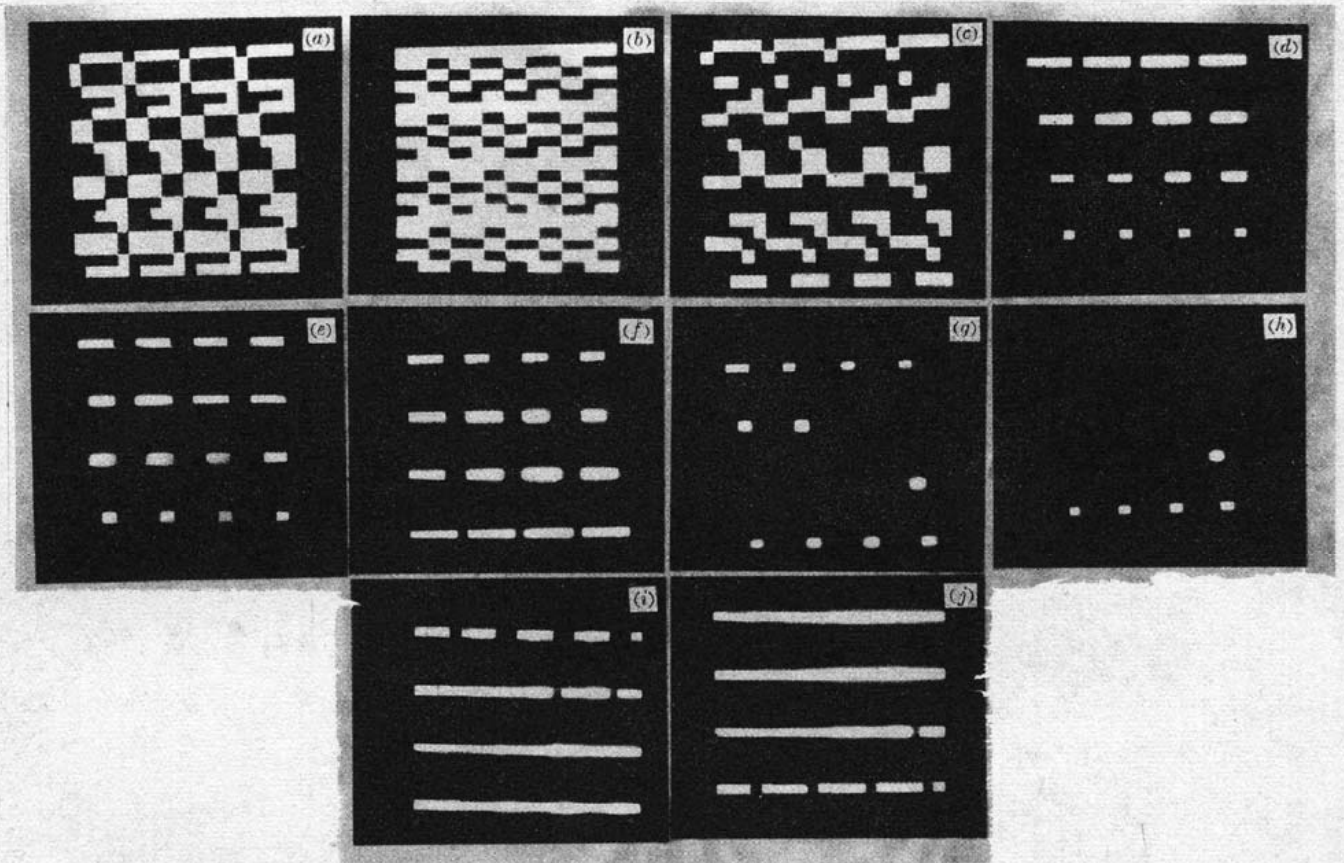


Fig. 5 The experimental results

参 考 文 献

- 1 H. Mada, in Technical Digest of the 1990 International Topical Meeting on Optical Computing, Paper 10 p. 4, Japan, 1990
- 2 L. Liu, *Opt. Commun.*, **73**183(1989)
- 3 刘树田 *et al.*, *中国激光*, **19**, 310(1992)
- 4 J. Tanida, Y. Ichioka, *J. Opt. Soc. Am.*, **73**, 800(1983)
- 5 J. Tanida, Y. Ichioka, *J. Opt. Soc. Am.*, **A2**, 1273(1985)