

## 第二章 影像關聯法

### 2.1 關聯法

關聯法(The correlation-based algorithm)是由 Reichardt 模型演變而來的，研究成果顯示許多動物包括人類對於移動中物體的偵測都是根據此演算法進行的程序。由於此演算法的運算與自相關 (autocorrelation)的運算非常相似，所以此演算法則被稱為關聯法。圖 2.1 中顯示的即是 Reichardt 所展示的最初模型，其輸出是藉由 PH1 的輸出與相鄰且經過延遲的 PH2 之輸出的乘積所產生的。圖 2.1 中的 PH 是感光電路，其作用是將感光後的訊號轉換成電子訊號，使之方便用於訊號處理。L 則是低通濾波器，其作用則是產生時間延遲。圖 2.1 中的乘法器代表著關聯運算子(correlator)，該乘法器的輸出是感光訊號的二次式。當低通濾波器的延遲與物體移動的時間相互抵銷時此一二次式的訊號則會變大，因此，當乘法器的輸出達到最大值時則代表著移動中的物體是延著特定的方向並以特定的速度移動。經過乘法運算器後的輸出即時地透過積分器而得到此感測器的輸出，物體的移動可以靠著觀察最大值的關聯運算值而偵測出。

最初的 Reichardt 模型中包含了空間性與時間性的過濾、乘法運算以及積分運算，所以這些的計算成本費用是很昂貴的。圖 2.2 中所顯示的是一個經過簡化後的概念性模型結構，在圖 2.2 中的 PH 是感光電路，D 是一個延遲為  $t_d$  的延遲機構，C 則代表關聯運算子。圖 2.2 中物體(Object)的速度是  $V_0$  而感光電路 PH1 與 PH2 之間的距離為  $d$ 。當物體從感光電路 PH1 向 PH2 的方向移動，其所花費的時間為  $t_s$ ，當  $t_s$  大於  $t_d$  時，則從 PH2 出來未經延遲的訊號與從 D 出來經過延遲的訊號並不能在關聯運算子互相符合。當  $t_s$  等於  $t_d$  時，則從 PH2 出來未經延遲的訊號與從 D 出來經過延遲的訊號在關聯運算子即可互相符合，且關聯運算子的輸出值將會為最大。而當  $t_s$  小於  $t_d$  時，關聯運算子的輸出值將會隨著  $t_s$  的減小而變小。

關聯法的主要優點如下所示：

a. 穩定

微分運算過程中會產生雜訊以及不可靠的資訊，由於關聯法是利用積分運算而並非

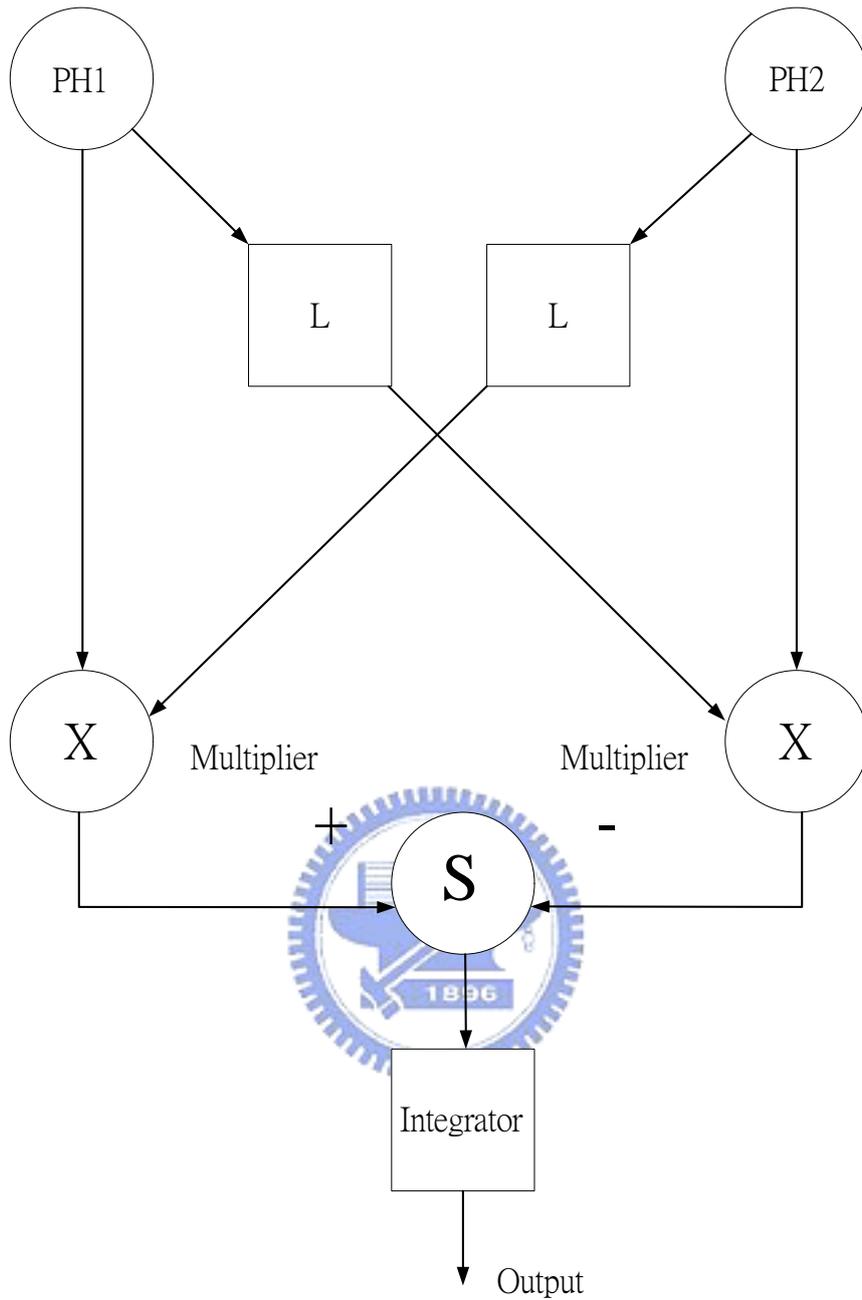


圖 2.1 Reichardt 最初的模型示意圖

是微分運算，因此，關聯法較梯度法 (gradient-based algorithm) 健全。

b. 簡潔

在大部分的硬體實現中，關聯運算是在鄰近單元間所作的運算，所以只需要每一個像素間的局部互動關係。事實上，這個簡易的方法是蒼蠅視覺系統[20]內對於移動物體之偵測其單元中的必要組成元件。而且如圖 2.2 中所示，圖中所包含的運算是很簡單的，

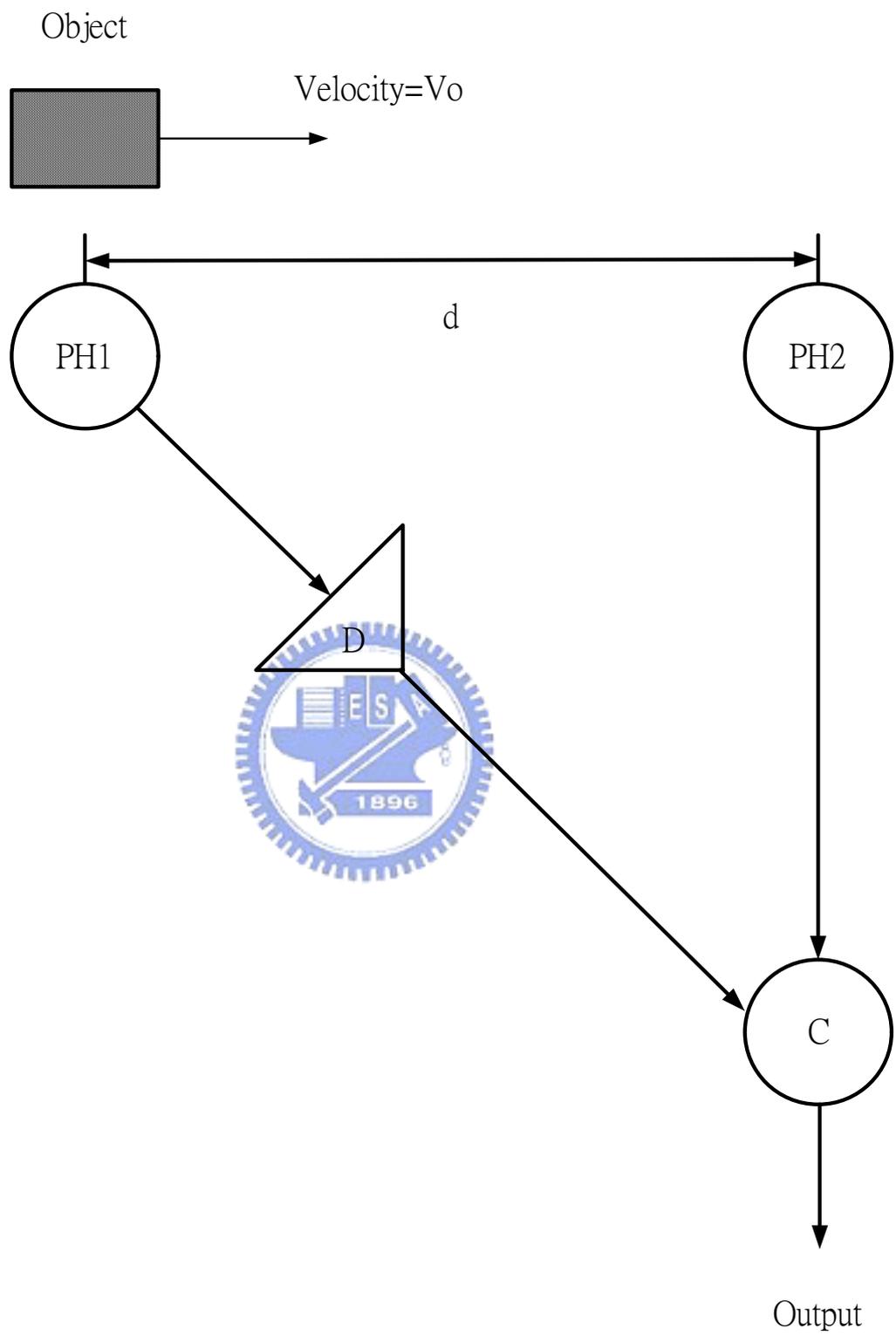


圖 2.2 簡化後的 Reichardt 模型示意圖

所以利用小小的面積即可實現。

圖 2.2 中所顯示的結構是單方向(由 PH1 至 PH2)的關聯運算，可以修改成兩個方向的關聯運算，修改後的圖如圖 2.3 所示，在圖 2.3 中，關聯運算子輸出的正負號代表著移動的方向，當物體從 PH1 往 PH3 的方向進行移動時，關聯運算子 C2 則輸出一帶有正號的訊號，反之，當物體從 PH3 往 PH1 的方向進行移動時，關聯運算子 C2 則會輸出一帶有負號的訊號。因此藉由正負號的判斷即可判別出物體的移動方向。

關聯法中所提到的組成元件，如感光電路、延遲機制以及關聯運算子將會在以下小節中介紹。

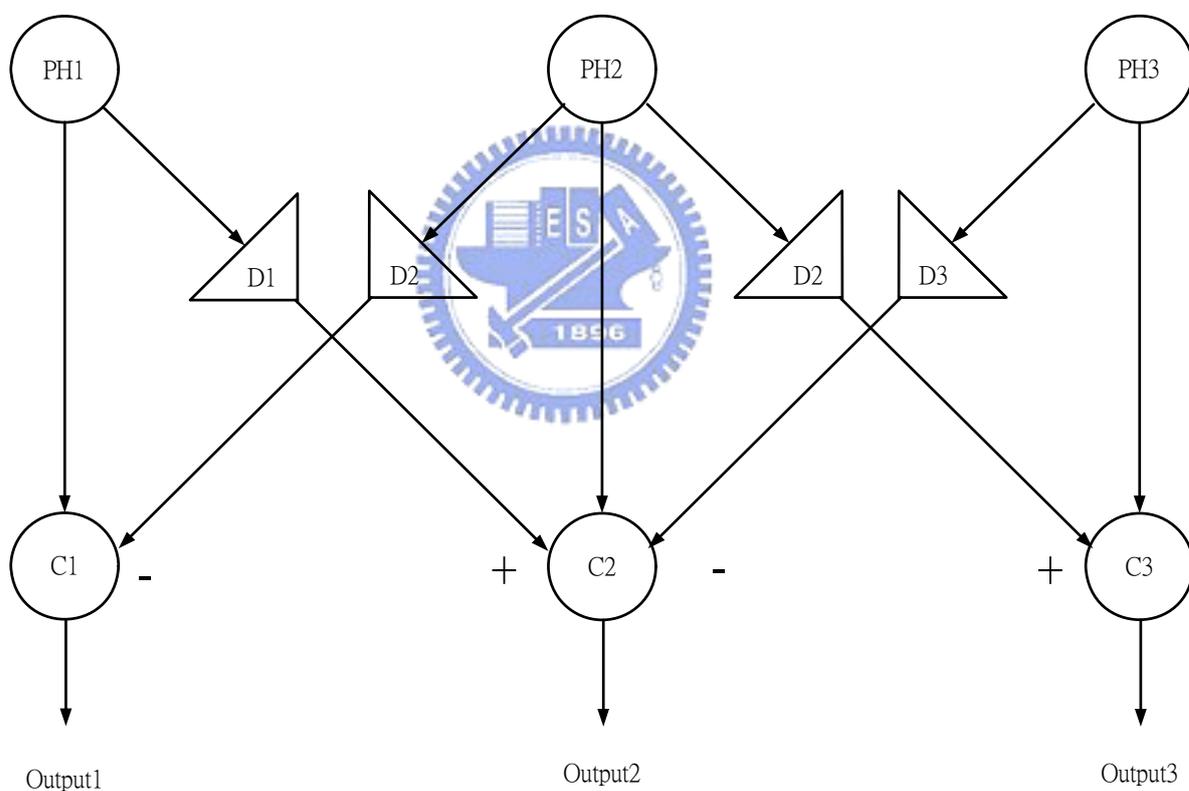


圖 2.3 雙方向之關聯運算示意圖

## 2.2 感光元件

感光元件是將感光訊號轉換成電子訊號的電路，在設計感光電路時，一個很重要的

觀念即是感光電路的動態範圍要夠大，圖 2.4 顯示一對數壓縮感光電路(Logarithmic compression photocircuit)，圖 2.4(a)是一 P-MOSFET 之對數感光電路，而圖 2.4(b)則是一 N-MOSFET 之對數感光電路。對數感光電路的作用是用來增強感光的動態範圍。當感光後的光電流  $I$  非常小的時候，則 MOSFETs 是工作於次臨界區(subthreshold region)，當 MOSFETs 工作於次臨界區時其動作形同一二極體，其輸出端電壓與輸入電流之間呈現出對數的關係。如圖 2.4(a)中，假定感光電流很小所以 MOSFET 工作於次臨界區，故我們可以得到以下的關係式。

$$I = \frac{W}{L} I_0 e^{\frac{kV}{V_T}} \quad (2.1)$$

2.1 式中的  $W$  與  $L$  是 MOSFET 的寬與長， $I$  則是代表感光電流， $I_0$  是零偏壓電流(zero-bias current)，其值會隨著製程而有所不同， $V$  則表示 MOSFET 的閘極(gate)與源極(source)之間的電壓降， $v_T = kT/q$  為臨限電壓， $\frac{1}{k} = \frac{\partial V_g}{\partial \phi} = 1 + \frac{1}{C_{ox}} \sqrt{-\frac{\rho \epsilon_s}{2\phi}}$ ， $C_{ox}$  為每單位面積之氧化電容， $\rho = qN$  為每單位體積之電荷密度， $\phi$  為表面電位能[21]。

如果我們將圖 2.4 中得 MOSFET 進行串接，則可以增加對數感光電路的靈敏度。而 2.1 式也將被改寫為

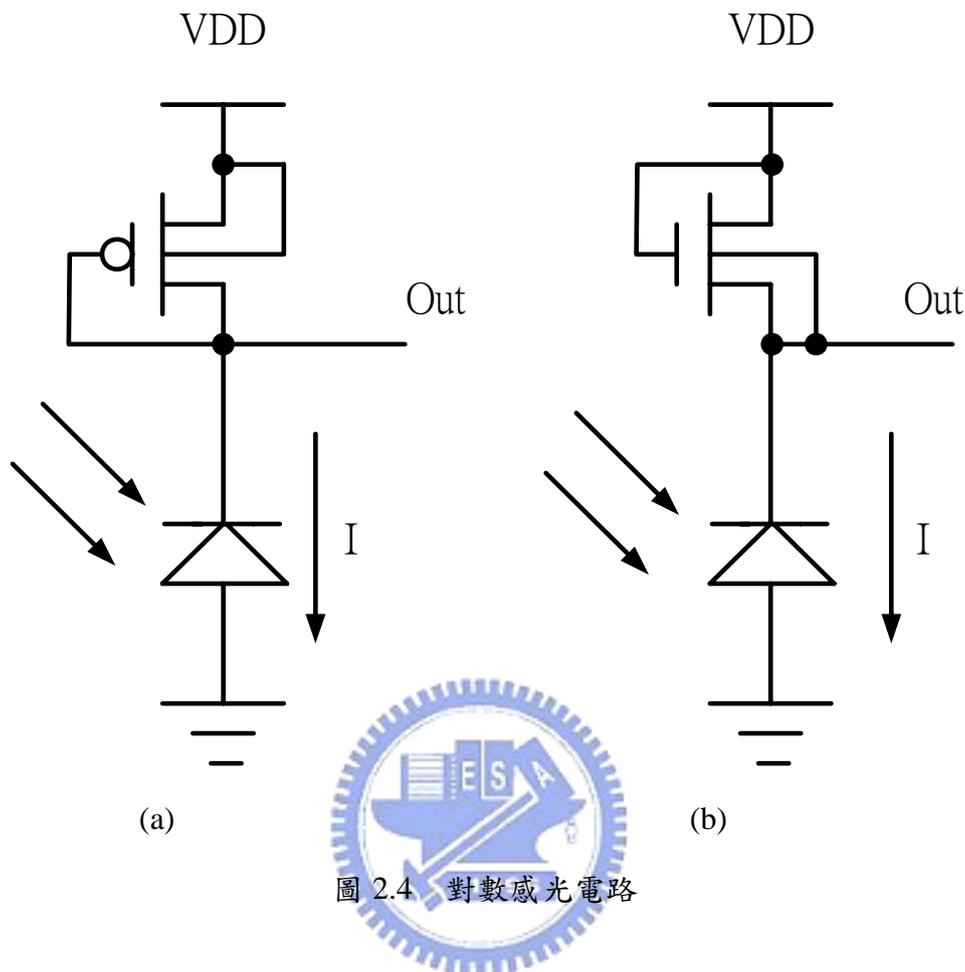
$$I = \frac{W}{L} I_0 e^{\frac{k^2 V}{(k+1)V_T}} \quad (2.2)$$

$$I = \frac{W}{L} I_0 e^{\frac{k^3 V}{(k^2+k+1)V_T}} \quad (2.3)$$

式子 2.2 是經過串接兩個 MOSFETs 後的電流關係式，而式子 2.3 則是經過串接三個 MOSFETs 後的電流關係式。

## 2.3 延遲機制

由於有各種不同的訊號要經過延遲機制，故延遲機制可以經由以下的電路所實現：



- a. RC 及 gm-C 低通濾波器：當要經過延遲機制的訊號為類比訊號，通常則使用這兩類的電路當作其延遲機制。訊號的相位及振幅會因為這兩個實現的電路而有所失真，然而，在大多數的動態偵測應用中，這些失真是可以忍受的。RC 低通濾波器中的電阻可以利用被動電阻或是 MOSFET 電阻實現。由於被動電阻的電阻值在電路製造完成後，並不是可調的，故只能偵測到一個特定的速度。因此利用 MOSFET 電阻是一個比較好的選擇，MOSFET 電阻可經由偏壓 MOSFET 至次臨限區而得到較高的電阻值，但 MOSFET 電阻有著容易受到製程漂移變化影響的缺點。而 gm-C 低通濾波器則是由轉導放大器(transconductance amplifier)以及一個電容所構成的，其所延遲的時間與轉導放大器之偏壓電流有關。為了要得到較長的延遲時間，則其轉導放大器的偏壓電流必須很小，但是轉導放大器操作在小偏壓電流時，將會造成許多麻煩，例

如造成不匹配(mismatch)以及易受雜訊源所干擾，這些缺點可以藉由線性化(linearization)[22]而改善。

- b. 電流延遲機制：在連續時間系統中，電流延遲機制的電路實驗如圖 2.5 所顯示。圖 2.5 中顯示為一電流鏡，且有一個電容置於兩個 MOSFET 的閘極(gate)與源極(source)間。而在離散時間系統中，其延遲機制是利用動態電流鏡所實現。此一動態電流鏡包含了一個電晶體、三個開關與一個電容，如圖 2.6(a)中所顯示。當 S1 閉合而 S2 打開時其圖如圖 2.6(b)所示，此時電容充電至  $V_g$ ，而 M1 的汲極電流(drain current)等於輸入電流。經過一個延遲時間之後，S1 打開而 S2 閉合時其電路圖如圖 2.6(c)所示，如此一來，輸入電流經過時間延遲之後則反射至輸出。
- c. 類比記憶體：在離散時間系統中取樣保持電路(sample and hold circuit)是電壓訊號儲存最簡單的結構，由於取樣保持電路只適合時間較短的儲存，所以畫面更新速率(frame rate)必須要快，不能太慢。
- d. 閘鎖與暫存器：閘鎖與暫存器在數位訊號的延遲上是最常被使用的電路，其所產生的延遲時間可以有彈性地利用時間控制器控制。

## 2.4 關聯運算子

基本上，關聯運算子所進行的運算功能與乘法運算一樣，然而，由於所要進行運算的訊號類型不同，所以其關聯運算子的實現方法也不同。以下將說明實現關聯運算子的種類。

- a. 乘法器：圖 2.7 顯示一電流型式的乘法器[23][24]，在圖中所有的 MOSFETs 都工作於次臨限區。電流源  $I_d$  是經過延遲的電流訊號，而  $I_n$  則是其鄰近像素且未經延遲的訊號，經由[24]式子推導演算，輸出電流可被表示為：

$$I_o = \frac{I_d \times I_n}{I_{bias}} \quad (2.4)$$

- b. 邏輯閘：如果感光電路與延遲機制的輸出訊號是一個二進制的訊號，則關聯運算子

通常都會利用邏輯閘來實現。NAND 在許多設計[25]-[27]中是常被使用的，NAND 的動作可以看成是一個位元的布林乘法運算，NAND 較乘法器健全，也不易受到雜訊與電路變化所影響，並且形成簡潔的硬體實現。而其他曾被使用來當關聯運算子的邏輯閘還有 XOR。

- c. 開關式電流源：開關式電流源的動作原理是當感光訊號與鄰近傳來經過延遲的感光訊號正確地關聯時，則其輸出端會輸出電流[28][29]。圖 2.8 顯示一電流源，從延遲機制出來的訊號連接至  $M_s$  的閘極(gate)，其動作如同一開關，而感光電路出來的電壓訊號則連接至  $M_c$  的閘極，感光電路的電壓訊號透過  $M_c$  轉換成電流訊號。如果延遲機制的輸出打開了開關，則電流訊號可以傳送至下一級的處理單元。
- d. 轉導放大器：轉導放大器適用於作雙方向的關聯運算子，其電路圖如圖 2.9 所顯示[30]。圖中底部之電流源是由未經過延遲的感光訊號所控制，而傳導放大器的正輸入端是由右邊鄰近像素所經過延遲的感光訊號所控制，負輸入端則是由左邊鄰近像素所經過延遲的感光訊號所控制。當有個物體以著特定的速度向右移動時，則輸出端輸出正的電流值，反之，當物體向左移動時，則輸出端輸出負的電流值。

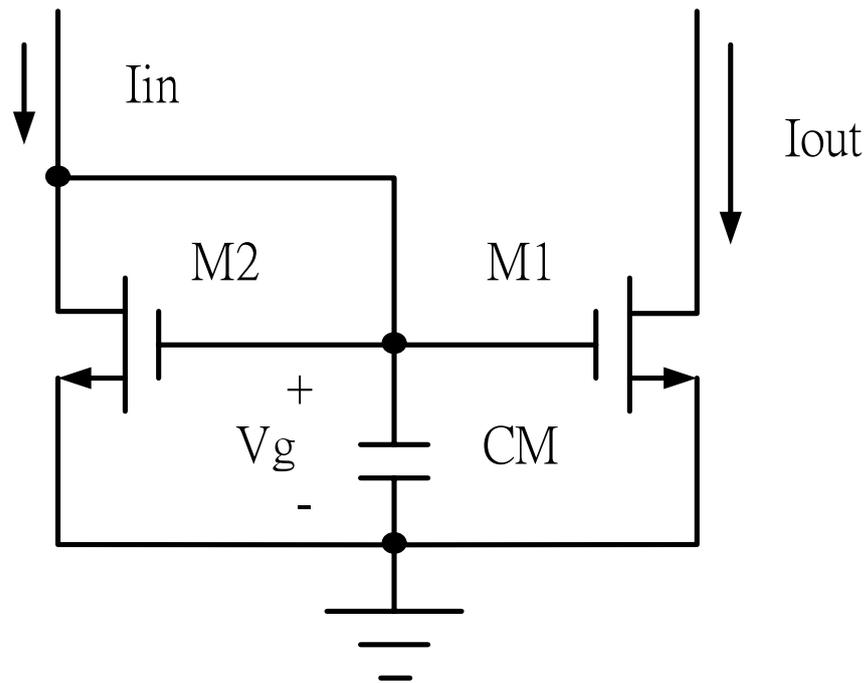


圖 2.5 連續時間電流延遲機制

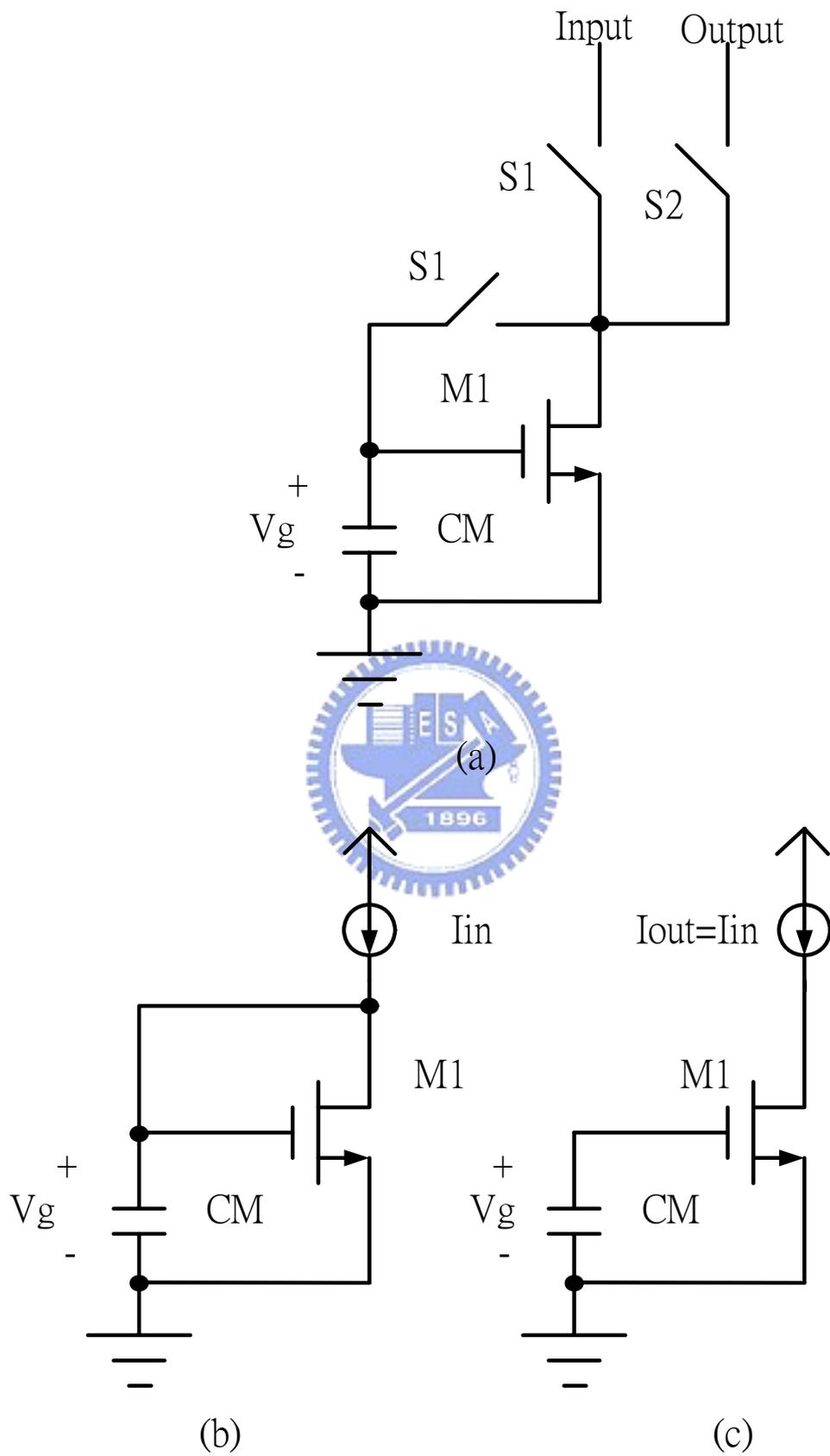


圖 2.6 離散時間電流延遲機制

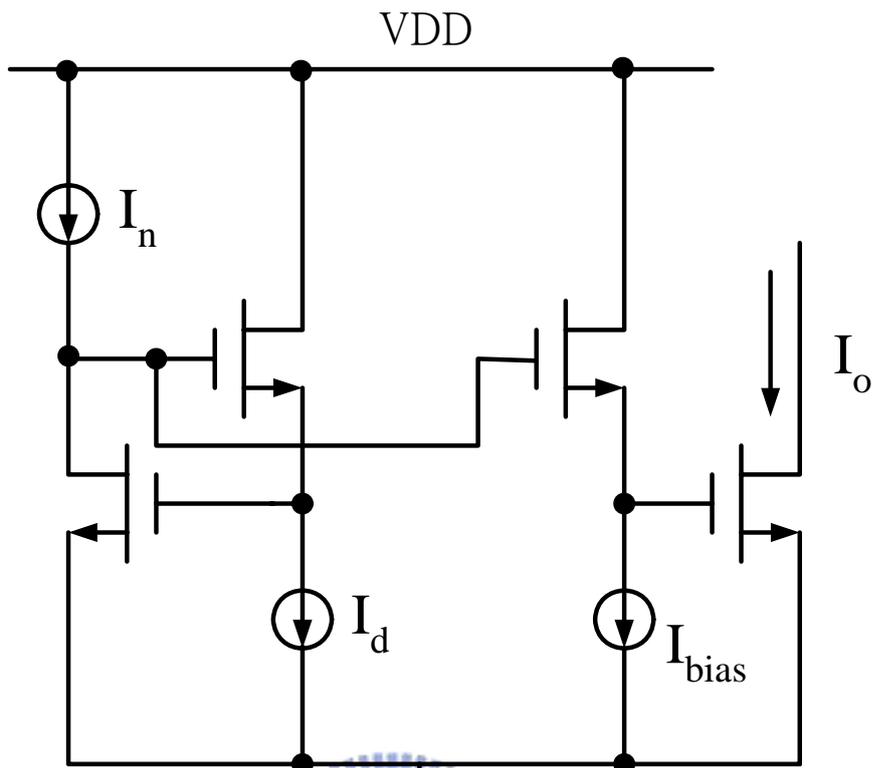


圖 2.7 電流型式乘法器

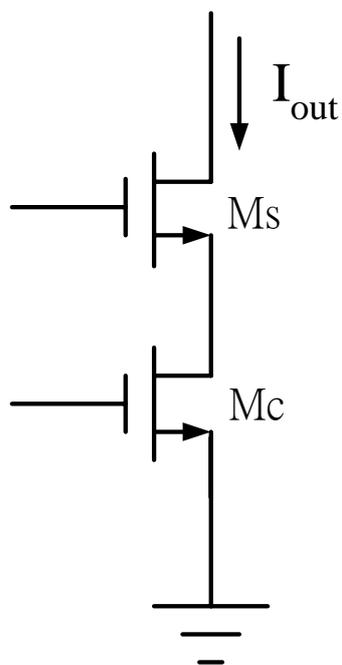


圖 2.8 關聯運算子：開關式電流源

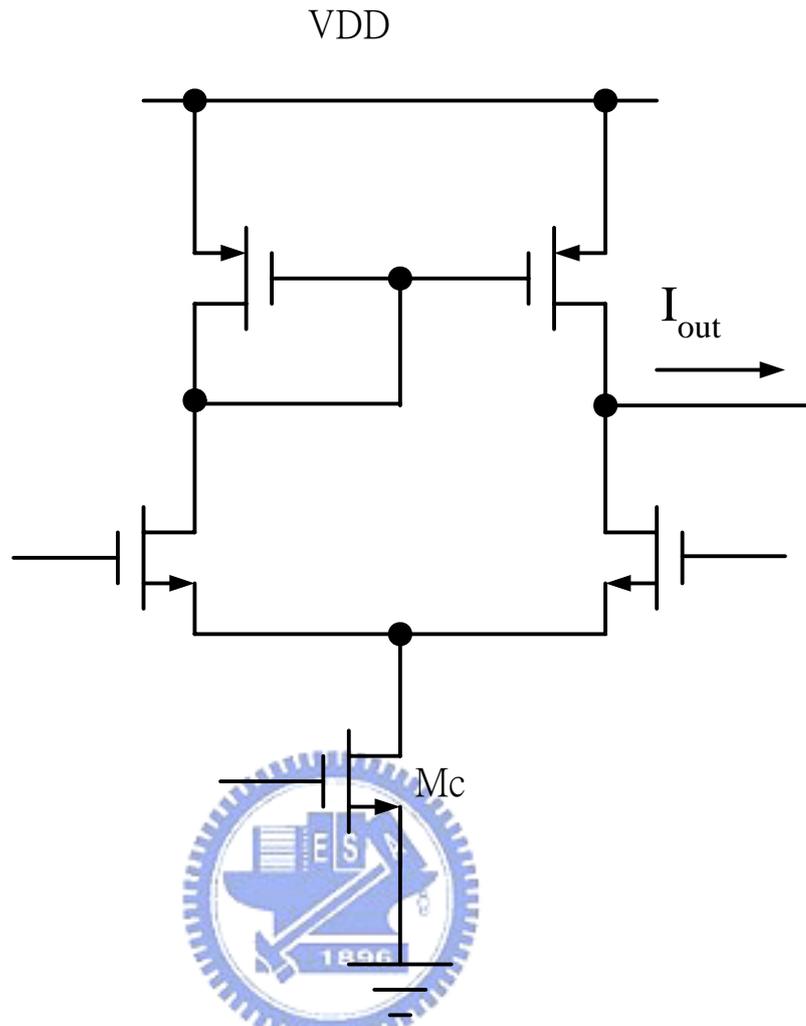


圖 2.9 關聯運算子：轉導放大器