

## پاسخ تمرین شماره ۲ درس معماری کامپیوتر

امیر حسین عاصم یوسفی  
۹۶۱۱۰۳۲۳

۱۵ فروردین ۱۳۹۸

### سوال ۱:

برای حل این سوال باید به این توجه کرد که هر بلاک  $M$  در واقع یک  $Carry Select Adder (CSA)$  باشد که اندازه تاخیر آن برابر با مجموع تاخیر مالتی پلکسر ها و تاخیر  $CRA$  ها می باشد که برای ۶۴ بیت به صورت زیر می باشد:

$$D_{64 \text{ bit adder}} = D_{CRA} + ((\frac{64}{M} - 1) \times D_{MUX})$$

همچنین باید این را در نظر گرفت که هر مالتی پلکسر یک تاخیر اضافه می کند (  $Fanout delay$  ) را اضافه می کند که این موضوع در تحلیل ما بسیار مهم است و به آن بر خواهیم گشت .  
حال اگر پیچیدگی های پیاده سازی واقعی صرف نظر کنیم و فرض کنیم که تاخیر هر  $FA$  ۱ بیتی  $N$  برابر تاخیر یک مالتی پلکسر می باشد . بنابراین با توجه به تاخیر  $CRA$  داریم:

$$D_{CRA} = N \times M \times D_{MUX}$$
$$D_{CRA} = (\frac{64}{M} - 1) \times D_{MUX}$$

با توجه به عبارت های بالا به معادله زیر می رسیم:

$$NM^2 + M = 64 \quad (1)$$

که اگر در معادله بالا داشته باشیم  $N = 2$  (تاخیر هر جمع کننده ۱ بیتی ۲ برابر تاخیر یک مالتی پلکسر می باشد) آن گاه برای  $M$  مقدار ۵.۴۱ به دست می آید که چون  $M$  باید یک مقدار صحیح باشد می توان دو مقدار را برای آن در نظر گرفت که به شرح زیر می باشد:

$$M = 5, M = 6$$

که اگر مقدار ۵ را در نظر بگیریم این جمع در ۱۳ مرحله انجام می شود پس داریم:

$$D_{adder} = 2 \times 5 + 12 = 22$$

بنابراین به ازای این مقدار تاخیر ما به اندازه ۲۲ مالتی پلکسر می باشد . به طور مشابه این اتفاق به ازای مقدار ۶ نیز می افتد .

با توجه به چیزی که در اول درباره تاخیر مالتی پلکسر گفته شده می توان فرض کرد که تاخیر یک جمع کننده ۱ بیتی برابر با تاخیر یک مالتی پلکسر با احتساب  $Fanout Delay$  می باشد بنابراین معادله ۱ به شکل زیر تغییر می کند:

$$1 \times M^2 + M = 64$$

که از معادله بالا مقدار ۷.۵۲ به دست می آید . که با توجه به این که  $M$  باید یک مقدار صحیح داشته باشد مقدار ۸ را برای آن در نظر می گیریم که در آن صورت تاخیر ما به اندازه  $8 \times 1 + 7 = 15$  مالتی پلکسر می باشد که مقدار مینیمم می باشد .  
بنابراین به ازای  $M = 8$  به تاخیر مینیمم می رسیم .

### سوال ۳ :

با توجه به این که می توان عدد به طول  $M$  را Sign Extend کرد و بعد با عدد  $M+2$  به صورت معمولی ضرب کرد بنابراین به حالات زیر می رسیم :

۱. سه بیت MSB عدد  $M$  بیتی یک باشد و با بقی  $M-3$  بیت دیگر صفر باشند آن گاه به تعداد ۱ تفریق نیاز داریم تا ضرب را انجام دهیم .

۲. سه بیت MSB عدد  $M$  بیتی ۱ باشد و بقیه  $M-3$  بیت دیگر یک باشد . که در این صورت به تعداد ۲ تفریق و ۲ جمع نیاز داریم .

پس با توجه به این دو حالت می توان به این نتیجه رسید که مینیمم برای تفریق مقدار ۱ می تواند باشد . حال دو حالت زیر را در نظر می گیریم :

۱. در این حالت فرض می کنیم بیت ها یکی در میان صفر و یک باشند با این شرط که LSB صفر باشد بنابراین در قسمت MSB سه یک قرار می گیرد و  $M-3$  بیت بعدی یکی در میان صفر و یک می باشند. و با توجه به این که در این الگوریتم یک بیت صفر هم در کنار LSB عدد  $M$  بیتی قرار می دهیم پس از  $M+2$  بار اجرا سه بار آن هیچ اتفاقی نمی افتد اول به خاطر ۰۰ در قسمت LSB در اول الگوریتم و دوبار دیگر به خاطر دوبیت ۱ در قسمت MSB می باشد پس :

$$\text{Sum} : \frac{M-4}{2}, \text{Subtract} : \frac{M+2}{2}$$

۲. این حالت عکس حالت قبل است بنابراین از  $M+2$  با اجرا فقط ۲ بار هیچ اتفاقی نمی افتد (به خاطر دو بیت ۱ موجود در قسمت MSB) پس داریم :

$$\text{Sum} : \frac{M}{2}, \text{Subtract} : \frac{M}{2}$$

حال از بین این ۴ حالت درمیابیم که :

$$\text{Min Sum} = \frac{M-4}{2}, \text{Mux Sum} = \frac{M}{2}, \text{Min Subtract} = 1, \text{MuxSubtract} = \frac{M+2}{2}$$

### سوال ۴ :

با توجه به این که هر چه قدر فرکانس کاری بالاتر رود زمان بین دو کلاک کمتر می شود بنابراین اگر فرکانس از حدی بالاتر رود طول کلاک ها برای انجام عملیات ها کافی نمی باشد .

اگر بخواهیم حالتی از ضرب را در نظر بگیریم که به طولانی ترین کلاک نیاز دارد می توان حالتی را در نظر گرفت که یک عدد که هر ۳۲ بیت آن یک می باشد را در خودش ضرب کرد بنابراین در هر کلاک به عملیات ها زیر نیاز داریم :

۱. به یک عملیات از سوی واحد کنترلی نیاز داریم که چک می کند ضرب شونده صفر شده است یا نه

۲. بیت کم ارزش ضرب شونده را چک می کند

۳. یک دستور جمع صادر می کند

۴. یک عملیات جمع انجام می شود

با توجه به این که تاخیر واحد کنترل برابر با ۸ می باشد در هر کلاک ۲۴ میکروثانیه نیاز داریم تا دستورات واحد کنترلی در هر کلاک به درستی انجام شود .  
 حال برای جمع کردن چون از یک  $CSA$  ۸ بیتی استفاده کرده ایم که با این واحد های ۸ بیتی می توان دو عدد ۳۲ بیتی را در ۴ مرحله جمع کرد و با توجه به فرمول تاخیر زیر :

$$D_{CSA} = \left(\frac{n}{k}\right) \times D_{FA} + (k - 1) \times D_{MUX}$$

داریم :

$$k = 4, n = 32, D_{FA} = 5\mu s, D_{MUX} = 4\mu s \Rightarrow D_{CSA} = \left(\frac{32}{4}\right) \times 5 + (4 - 1) \times 4 = 40 + 12 = 52\mu s$$

بنابراین ۵۲ میکروثانیه هم برای انجام شدن دستور جمع در هر کلاک نیاز داریم پس :

$$D_{Total} = 52 + 24 = 76\mu s$$

بنابراین طول هر کلاک باید ۷۶ میکروثانیه باشد تا عملیات ضرب به درستی انجام شود . ولی چون هم ضرب شونده و هم ضرب کننده ۳۲ بیتی هستند باید این مدار با فرکانسی کار کند که در ۳۲ کلاک بتواند کار را به اتمام برساند زیرا این مدار تا زمانی به کار خود ادامه می دهد که ضرب شونده صفر نشده باشد .

و با توجه به این که

$$Clock\ Cycle\ Time = 76\ \mu s = \frac{1}{Clock\ Rate}$$

بنابراین حداکثر فرکانسی که می تواند با آن کار کند برابر است با

$$Clock\ Rate = \frac{1}{76 \times 10^{-6}} \cong 13157 Hz$$

بنابراین با حداکثر فرکانس بالا کار کند .

## سوال ۵ :

اگر هر کدام از اعداد  $A$  و  $B$  را به فرم زیر تعریف کنیم :

$$A = X_N X_{N-1} X_{N-2} \dots X_1 X_0$$

$$B = Y_N Y_{N-1} Y_{N-2} \dots Y_1 Y_0$$

حال با توجه به این که در الگوریتم ضرب ترکیبی هر بیت عدد  $A$  را با هر بیت عدد  $B$  ،  $AND$  می کنیم پس به  $N \times N = N^2$  گیت  $AND$  نیاز داریم .

بعد از  $AND$  کردن این اعداد آن ها را با یک دیگر جمع می کنیم که بنابراین به  $N(N-1)$  جمع کننده ( $FA$ ) ( نیاز داریم بنابراین تعداد  $HA$  ها برابر است با

$$N(N-1) \times 2$$

بنابراین با توجه به این محاسبات برای یک ضرب کننده ترکیبی ۴ بیتی مقادیر به شکل زیر می باشد :

$$FA = 12 \Rightarrow HA = 12 \times 2 = 24$$

$$AND\ Gate = 4 \times 4 = 16$$

بنابراین با توجه به این تاخیر گیت  $AND$  برابر با ۳ واحد می باشد و این که تاخیر یک  $HA$  برابر با ۴ واحد می باشد بنابراین تاخیر یک ضرب کننده ترکیبی ۴ بیتی برابر است با :

$$D_{4bit\ Combinational\ Multiplier} = 24 \times 3 + 16 \times 4 = 72 + 64 = 136$$

بنابراین تاخیر برابر با ۱۳۶ واحد زمانی می باشد .

## سوال ۶ :

با توجه به فرمول تاخیر *Multi stage CSA* که به شرح زیر می باشد :

$$D_{CSA} = \left(\frac{n}{k}\right) \times D_{FA} + (k-1) \times D_{Mux}$$

و همچنین با توجه به فرمول مساحت که به شرح زیر است :

$$A_{CSA} = n \times \left(\left(\frac{2k-1}{k}\right)\right) \times A_{FA} + (k-1) \times A_{Mux}$$

حال با ضرب دو مقدار به دست آمده در بالا به یک تابع دو متغیره بر حسب متغیرهای  $n$  و  $k$  می رسم که به صورت زیر می باشد :

$$D_{CSA} \times A_{CSA} = \left(\left(\frac{n}{k}\right) \times D_{FA} + (k-1) \times D_{Mux}\right) \times \left(n \times \left(\frac{2k-1}{k}\right) \times A_{FA} + (k-1) \times A_{Mux}\right)$$

که برای سادگی می توان  $(k-1)$  را  $k$  در نظر گرفت و مقدار  $2k-1$  را  $2k$  در نظر گرفت پس تابع دو متغیره ما به صورت زیر ساده می شود :

$$D_{CSA} \times A_{CSA} = \left(\left(\frac{n}{k}\right) \times D_{FA} + (k) \times D_{Mux}\right) \times \left(n \times \left(\frac{2k}{k}\right) \times A_{FA} + (k) \times A_{Mux}\right)$$

که با انجام دادن این ضرب داریم :

$$H(n, k) = \left(\frac{2n^2}{k}\right) D_{FA} A_{FA} + n D_{FA} A_{Mux} + 2nk D_{Mux} A_{FA} + K^2 A_{Mux} D_{Mux}$$

اگر تابع دو متغیره بالا را بر حسب  $k$  کمینه کنیم به تعداد مراحل می رسم که  $\text{delay} * \text{area}$  کمینه می شود . پس بر حسب  $k$  مشتق می گیریم برابر با صفر قرار می دهیم :

$$\frac{\partial H}{\partial k} = \left(-\frac{2n^2}{k^2}\right) D_{FA} A_{FA} + 2n D_{Mux} A_{FA} + 2k A_{Mux} D_{Mux} = 0$$

که از این معادله مقدار  $k$  برابر است با ۲.۲۵ که چون باید مقدار آن یک عدد صحیح باشد بنابراین مقدار ۲ را برای آن در نظر می گیریم .  
بنابراین تاخیر یک جمع کننده ۸ بیتی برابر است با :

$$D_{CSA} = \left(\frac{n}{k}\right) \times D_{FA} + (k-1) \times D_{Mux}, n = 8, k = 2, D_{Mux} = 3, D_{FA} = 3 \Rightarrow D_{CSA} = 15$$

## سوال ۷ :

برای CLA داریم :

$$\begin{aligned} P_i &= X_i \oplus Y_i \\ G_i &= X_i \cdot Y_i \\ C_{i+1} &= G_i + P_i C_i \\ S_i &= P_i \oplus C_i \end{aligned}$$

و با توجه به دودعد داده شده داریم :

$$\begin{aligned} x_0 &= 0, x_1 = 1, x_2 = 1, x_3 = 0 \\ y_0 &= 1, y_1 = 0, y_2 = 0, y_3 = 1 \end{aligned}$$

بنابراین برای  $P_i$  ها داریم :

$$\begin{aligned}P_0 &= x_0 \oplus y_0 = 1 \\P_1 &= x_1 \oplus y_1 = 1 \\P_2 &= x_2 \oplus y_2 = 1 \\P_3 &= x_3 \oplus y_3 = 1\end{aligned}$$

برای  $G_i$  ها داریم :

$$\begin{aligned}G_0 &= x_0 \cdot y_0 = 0 \\G_1 &= x_1 \cdot y_1 = 0 \\G_2 &= x_2 \cdot y_2 = 0 \\G_3 &= x_3 \cdot y_3 = 0\end{aligned}$$

برای  $C_i$  ها داریم :

$$\begin{aligned}C_0 &= 1 \Rightarrow C_1 = G_0 + P_0 C_0 = 1 \\C_2 &= G_1 + P_1 C_1 = 1 \\C_3 &= G_2 + P_2 C_2 = 1\end{aligned}$$

برای  $S_i$  ها داریم :

$$\begin{aligned}S_0 &= P_0 \oplus C_0 = 0 \\S_1 &= P_1 \oplus C_1 = 0 \\S_2 &= P_2 \oplus C_2 = 0 \\S_3 &= P_3 \oplus C_3 = 0\end{aligned}$$

بنابراین

$$\begin{aligned}C_3 &= 1 \\S_3 &= 0\end{aligned}$$

## سوال ۸ :

### قسمت اول :

مراحل کار هر ضرب کننده را می توان به صورت زیر تقسیم بندی کرد :

۱. تولید کردن ضرب های جزئی (Partial Products)

۲. جمع کردن ضرب های جزئی

۳. جمع نهایی و به دست آوردن حاصل ضرب

اما تمام تفاوت و برتری روش Wallace Tree در قسمت دوم نهفته است که ایده ی آن بر اساس Divide & Conquer می باشد که به جای این که ضرب های جزئی را تک به تک با یک دیگر جمع کند از واحدهای CSA (Carry Save Adder) استفاده می کند .

مزیت های این روش به شرح زیر می باشد :

۱. سرعت بالا

۲. توان مصرفی پایین

۳. تاخیر کمتر

۴. تعداد سطوح منطقی کمتری برای جمع کردن در آن وجود دارد

هدف استفاده از این روش رسیدن به سرعت بیشتر و در عین حال داشتن توان کمتر می باشد و امروزه در بسیاری از موارد مانند محاسبات ممیز شناور و تحلیل و پردازش سیگنال کاربرد بسیار فراوانی دارد .

### قسمت دوم :

روش انجام آن به این شکل است که ابتدا بیت های Multiplicant را با بیت های Multiplier تک به تک And کنیم تا به ضرب های جزئی برسیم و در مرحله با استفاده از CSA ها ضرب های جزئی را جمع می کنیم و در نهایت برای جمع آخر از یک CPA (Carry Propagate Adder) استفاده می کنیم .  
بنابراین برای طراحی چنین مداری که دو عدد ۴ بیتی را در یک ضرب کند به اجزای زیر نیاز داریم :

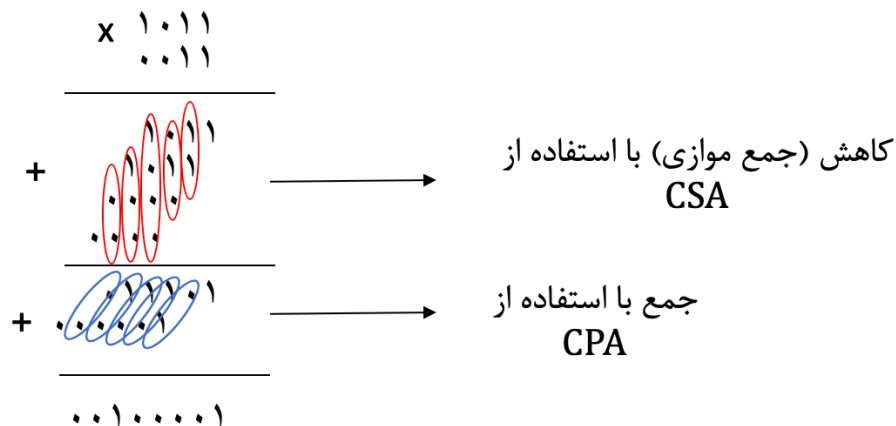
۱. گیت AND ۱۶ عدد

۲. جمع کننده CSA ۵ عدد

۳. جمع کننده CPA ۱ عدد

حاصل ضرب خواسته شده :

با توجه به شماره دانشجویی داریم :  $(0011)_2 = 3 = 32 \% 323 = \text{Multiplier}$  و با توجه به صورت سوال داریم :  $(1011)_2 = \text{Multiplicant}$   
پس :



همان طور که می توان دید حاصل ضرب برابر با عدد ۳۳ (در مبنای ۱۰) می باشد .

### سوال ۹ :

برای پیاده سازی این سوال از ۴ فلیپ فلاپ JK و ۸ مالتی پلکسر ۸ به ۱ استفاده شده است . که فایل های bdf و bsf آن به پیوست ارسال می شود .