



ステートマシンうんちく講座 4

いっぺい マシンの巻

小林芳直

ステートマシンの役割は順序制御なので、「仕様が決まってい、その仕様を満足すればそれでいいじゃん」と言いたいところですが、現実には仕上がりに大きな差があります。回路サイズの10倍ぐらゐの差は、まあ仕方ないとして、「レイテンシで2クロックとか3クロックの差をつけられるのは残念だけど、動作速度が2倍違うって…。ううむ、誤動作に対するロバストネス(頑強性)が違う、だとお…」となると、たまには細かな回路テクニックに立ち返ってみたいくなります。

時代の流れはHDLで大規模な回路を効率よく設計することであり、その流れは止められませんが、論理合成ツールをうまく操縦して、期待どおりの出力を出してくれるようにガイドすることはできます。たいていの場合、回路の実現には多くの方式があつて、優先するものが回路サイズなのか、動作速度なのか、レイテンシなのか、はたまた消費電力なのかによって最適解が変わってきます。でも論理合成ツールは単純に正確にソース・ファイルに忠実に回路を出力してくれるだけです。必要な回路性能がでないからといって、ツールの責任だと言ってもしょうがありません。ツールの出力が致命的にまずくて期待していたスペックが守れなくなるといった事態には、ソース・ファイルを加工調理して御機嫌を取るというトライ・アンド・エラーも必要になるかもしれません。これでうまくいくかもしれないし、ゲート・レベルの回路を食わせてもスペックが実現できなくて、「最初の見込み違いでしたあ」なんてことだつてあり得ます。

ステートマシンの設計にも設計者の個性が現れて、さまざまなバリエーションが存在します。目的とするシステムの明確なイメージ

をもって、しかるに答えを無理に一つに絞り込まないで多様性を受け入れるのがステートマシンうんちく講座です。

同じスペックで書かれたステートマシンの、回路サイズや、レイテンシや、消費電力の違いや、耐ノイズ特性の違いを味わってください。



1. ARマシン

[問題]

外部入力信号Xに対して、示された波形を出力するステートマシンの状態遷移表と回路図を書いてください。

- 信号Xが'1'になると、

パターンA:1011100…(信号Xが'0'になるまでずっと'0')

- 信号Xが'0'になると、

パターンR:1011101000…(信号Xが'1'になるまでずっと'0')

パターンAの最後の'1'とパターンRの最初の'1'の間には'0'を3個以上挟んでください。パターンRからパターンAへの切り替えも同じ。

[解答1] べあマシン

この問題は、筆者が受けもっている大学の講義でステートマシンの修了試験に使ったものです。ステートの数がある程度多く、パターンがありそうでなさそうな、簡単に作れそうで作れなさそうな、設計者の個性が出やすい問題です。ハムを趣味とされている方はピンときていると思いますが、これは“A”と“R”のモールス符号です。モールス符号の長音は、短音の3倍の長さがあります。解答例に出てくる信号名やマシン名には、とくに意味はありません。

では、解答を考えましょう(図1)。パターンAは8状態と考えることができるので、4ビット・ジョンソン・カウンタをベース・カウンタに選ぶことが考えられます。4ビット・ジョンソン・カウンタの先頭ラッチに信号Xでストップ・モーションをかければパターンAを作るためのタイミングが作れるので、あとはデコードするだけです。

パターンRは10状態なので、5ビット・ジョンソン・カウンタを



ベース・カウンタにすることができます。5ビット・ジョンソン・カウンタの先頭ラッチにX = '0' でストップ・モーションをかければ、連続する10のタイミングが作れるので、あとは適当にデコードすればパターンRを作れます。

さて、二つのステートマシンは作れましたが、このままでは両者は勝手に走り出してしまいます。そこで、二つのステートマシンが同時に走らないように、もう一つ外側にステートマシンを用意して信号を管理します。パターンRの出力はサブルーチンとして動作する二つのステートマシンに行かせます。構造的に見事なステートマシン設計ですが、ステートマシンを2段構成にしたためレイテンシが1発生しています。ここで使った複数のステートマシンの多面制御を行うことをアービトレーションといいます。この制御のために3ビットのジョンソン・ステートマシンを使います。

〔解答2〕 オッカム・マシン

パターンAとパターンRは連続した18状態のステートマシンと考えることもできます。これは9ビットのジョンソン・カウンタの2箇所にストップ・モーションをかけることによって実現できます。全体が一つのステートマシンなので、アービトレーションは不要です。

9ビット・ジョンソン・カウンタでは、ブービー・トラップ回路は下位4ビットのオール0が条件になるので、先頭ビットのセット

条件に入れてあります。

ものごとを単純に考えると、こんなにすっきりするという例です(図2)。

〔解答3〕 ハイテック・マシン

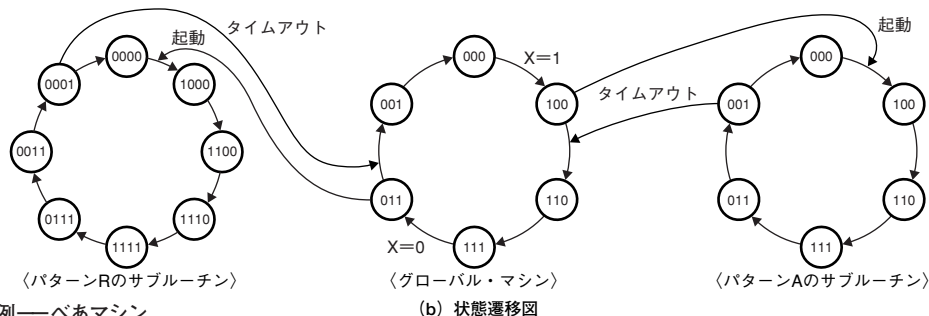
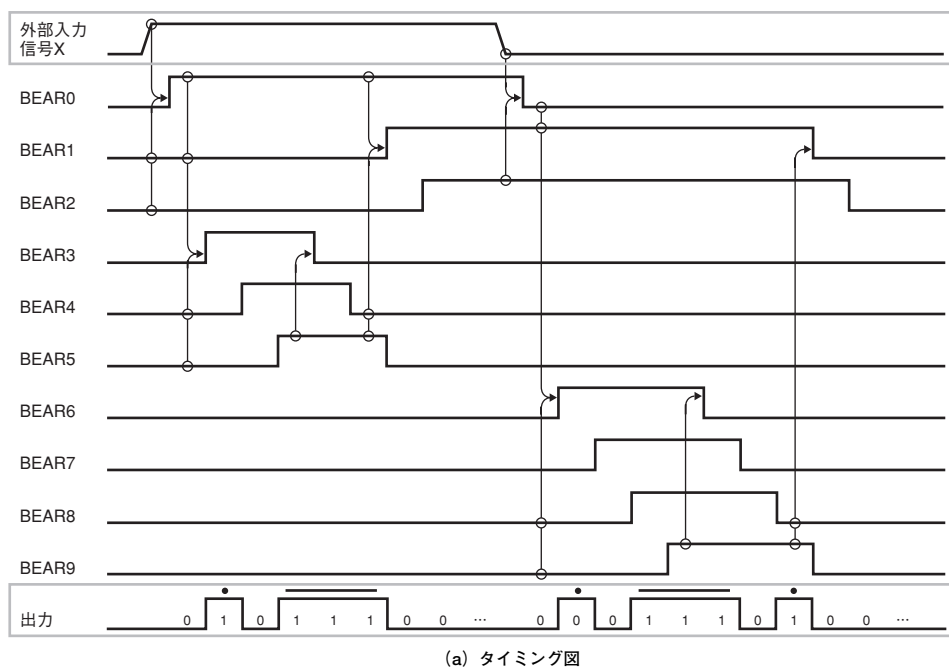
パターンAとパターンRは排他的にアクセスされるので、共通のステートマシンの動作を変えることによって実現できます。5ビット・ジョンソン・カウンタの帰還回路を工夫して5-3ジョンソン・カウンタにすれば8状態を表現できます。

外にPQ切り替えラッチを用意しておいて、ステートマシンが起動されたことを確認したらPQラッチの反転を行います。このPQラッチの値によって帰還回路の動作条件を切り替えます。外部入力信号Xをモニタしているのが1個のラッチだけなので入力ラッチを外すことができます。

外部入力信号をモニタしているステートマシンが外側にいるので、無駄なレイテンシも発生しない、という回路技術を寄せ集めたような設計です。

〔解答4〕 いっぱいマシン

5-3ジョンソン・カウンタと5-5ジョンソン・カウンタのタイム・チャートを並べて、出力パターンと細かく比較してみると、ステ



〔図1〕 AR マシンの回答例——べあマシン

三つのステートマシンを組み合わせてつくる。