

7 カラフル『2進数電子そろばん』動作判定装置の製作

山形大学工学部技術部
計測技術室 水沼 充

1. はじめに

平成 21 年度前期山形大学工学部地域貢献奨励金に「理科実験教室：カラフル『2進数電子そろばん』を作ってみよう」と題して応募し交付された。一昔前の子どもの理科嫌い・理科離れから一転して、昨今は面白理科実験や出前実験ブームとなってきたなかで、大学の技術職員として「小学生に理科の楽しさ・面白さを伝えたい」、「理科実験教室での体験を通して科学への感心を高めたい」、また、大学を通して「地域の子供達とのコミュニケーションを通じて社会貢献したい」、「次世代を担う子供達の育成に貢献したい」などの思いを日々感じてきている。

筆者は過去に拡張型 4 ビット加算/減算器 IC を試作・評価してきた経験[1]から、小中高生に、デジタルコンピュータ(以下では単にコンピュータと呼ぶ)の動作の基本である 2 進法による計算を加算や減算を通して、『電子そろばん』という形でイメージとして理解してもらうために、2 進数電子そろばんを組み立て動かしてもらってはどうかと考えてみた。本稿では、2 進数電子そろばん、および製作した 2 進数電子そろばんが有効に働いているかを自動的に判定する動作判定装置について述べる。

2. 2 進数電子そろばんと動作判定装置

2 進数電子そろばんとして、論理ゲート IC、色別発光ダイオード、点滅型色別発光ダイオード、スイッチなどを用いて組み立て型 1 桁(ビット)タイプ、2 桁(ビット)タイプ、3 桁(ビット)タイプ、多桁(ビット)タイプを準備し、理科実験教室参加者のレベルに応じて対応する。加算にあっては桁(ビット)の足される数(被加数)、足す数(加数)、和、桁上げを、減算にあっては桁(ビット)の引かれる数(被減数)、引く数(減数)、差、桁借りを色別発光ダイオードや点滅型色別発光ダイオード、スイッチなどで加算や減算を行い過程・結果をそのまま盤面の形で表示させる。

2 進数電子そろばんの動作判定装置は論理

ゲート IC、LED、発振回路、スピーカ等から構成されている。組み立てた 2 進数電子そろばんが有効に働いているかを電子的に判定して、LED 表示、電子音で知らせる。

3. 2 進法の加算と減算

電気信号で数を表現するコンピュータの計算には 2 進法が非常に適している。普段私達が日常生活で使っている計算には、お金の出し入れ等に用いられる 10 進法による計算や時計に見られる 12 進法、24 進法、60 進法による計算があるが、電気信号で数を表現するコンピュータ内部では全ての数字を 2 進法で処理している[2]。2 進法とは、基数を 2 とした数値の表現方法で、「0」と「1」の 2 種類の数字を用いてすべての数を表現し、桁が一つ移動する毎に値の重みが 2 倍(1/2 倍)になる。2 進法の数字はビットと呼ばれビットの位置(場所)は指定された数字の値(重み)を決める。例えば、2 進数 $N=1011.01_2$ は $N=1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$ を意味する。2 進数 N は整数部と小数部から成るが、以下では 2 進法の整数(2 進整数)について取り扱い単に 2 進数と呼ぶこととする。

2 進数の計算(算術演算)は 10 進数と同様に行なわれ、基数と数字の相異があるだけである。例えば、2 進数の和 1 に 1 が加えられると $1+1=0$ となり桁上げ(キャリー)の 1 が次の桁に得られ元の桁は 0 となる。2 つの 2 進数の加算規則は次のようになる。

$$\begin{aligned} 0+0 &= 0 & 0+1 &= 1+0=1 \\ 1+1 &= 10 \end{aligned}$$

2 つの 2 進数の減算規則は次のようになる。

$$\begin{aligned} 0-0 &= 0 & 1-0 &= 1 & 1-1 &= 0 \\ 10-1 &= 1 \end{aligned}$$

最後の規則は桁借り(ポロー)を示しており、 $0-1$ の計算は次の桁から 1 を借りてきて $10-1$ を求め、 $0-1=1$ 、桁借り 1 となる。2 進数電子そろばんでは桁借りを行なうために、補数を加えることによって減算を行なう。補数の算術演算を用いると減算は補数の加算、

すなわち、2の補数表示を用いた算術演算

$$A - B = A + (-B)$$

で行なうことができる。

補数による算術演算を行なうには2進数の最上位ビットを符号ビットとし符号と絶対値で表示する符号つき2進数を用いる。例えば、正の2進数+00、+01、+10、+11は000、001、010、011と表し、負の2進数-00、-01、-10、-11は100、101、110、111と表す。2進数には「1の補数」と「2の補数」があり、1の補数は2進数の各ビットの否定をとることによって得られ、2の補数は1の補数に1を加えることによって得られる。2の補数表示を用いた算術演算の例として、(例1) $(11) - (10) = (+11) + (-10) = (011) + [\text{符号ビットは1}][10 \text{の2の補数表示}] = (011) + (110) = (1001) = [\text{桁上げされた最上位ビットは無視}](001) = [\text{符号ビットは正}][01]$ となる。(例2) $(10) - (11) = (+10) + (-11) = (010) + [\text{符号ビットは1}][11 \text{の2の補数表示}] = (010) + (101) = (111) = [\text{符号ビットは負}][11 \text{の2の補数表示}] = [\text{負}][01]$ となる。

4. 加算器と減算器

電気信号で数を表現する2進数電子そろばんは、2進数の加算、減算を行なうために論理ゲートから成るデジタル回路で構成される。2つの2進数の加算は2進数のビット数(桁数)と同じ数の全加算器を用いて実現できる。1ビット全加算器(FA)を図1に示す。図1で、NANDは2入力否定論理積ゲートを、ExORは2入力排他的論理和ゲートを表す。2つの2進数の減算は2進数のビット数と同じ数の排他的論理和ゲートと1ビット全加算器を用いて実現できるために、加算/減算回路として構成できる。1ビット加算/

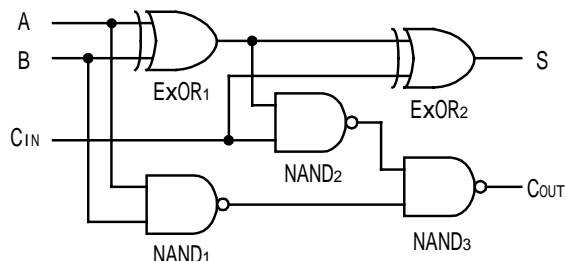


図1 1ビット全加算器(FA)

減算器を図2に示す。図2で、加算では、SUB = L(Low, 低電圧)、 $C_{IN} = L$ 、減算では、SUB = H(High, 高電圧)、 $C_{IN} = H$ とする。

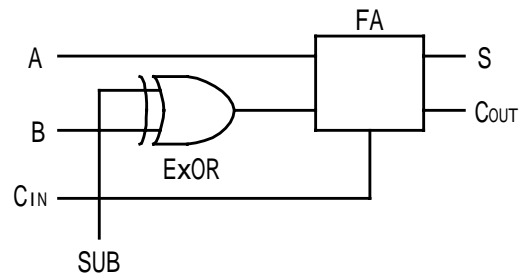


図2 1ビット加算/減算器

5. カラフル2進数電子そろばんの製作

作る体験を通して小学生(高学年)にも楽しさ・面白さを感じてもらうために論理ゲートIC等の電子パーツを電子ブロックとして取り扱う。製作体験者は電子ブロックをレベルに応じて配置・配線を行い、電子そろばんを完成させる。2進数電子そろばんの紙製操作・表示パネルは自由に色付けできるようにしている。

6. 動作判定装置の製作

試作した動作判定装置は論理ゲートIC、LED、発振回路、スピーカ等から成り、製作体験者が製作した電子そろばんの動作判定結果をLED表示と電子音で知らせてくれる。動作判定装置を改良し、マイコンと音声録再生ボードから成る音声出力を加えたい。

7. まとめ

2進数電子そろばん、および製作した2進数電子そろばんが有効に働いているかを自動的に判定する動作判定装置について述べた。実際の理科実験教室の実施や科学フェスティバル等の出展を通して理科教材の開発・改良や実験指導ノウハウ作りに活かしたいと思っている。

謝辞

日頃ご指導頂いております大学院理工学研究科応用生命システム工学分野・横山道央准教授に深く感謝致します。なお、本研究の一部は、平成21年度前期山形大学工学部地域貢献奨励金(テーマ:カラフル『2進数電子そろばん』をつくってみよう)の助成を受け実施した。

参考文献

- [1]水沼充,「超低消費電力・拡張型4ビット加算/減算器ICの評価」,第5回山形大学工学部技術部職員研修・技術発表要旨集,pp.16-19,1999年9月.
- [2]D.E. JOHNSON, P.M. JULICH 共著,矢崎銀作・小島紀男共訳,「マイクロコンピュータの基礎」,東海大学出版会,1989年11月.