

ロボットによる穿刺

西宮市立中央病院泌尿器科
坂 口 強

PERCUTANEOUS PUNCTURE WITH ROBOT

Tsuyoshi SAKAGUCHI

From the Department of urology Nishinomiya municipal central hospital

The great advances of microelectronics and mechatronics are gradually being applied into medicine. In percutaneous nephrostomy, it is possible to calculate the depth and direction of the needle by using a computer if one point on the surface of the skin and another point in the dilated renal pelvis are determined. When a robot is moved according to the computed results, a percutaneous operation is performed fast and exactly.

We established a system through which a percutaneous operation is automatically performed. The following technical difficulties of this system were overcome. The coordinates of the two points for a percutaneous operation were input into a computer through a CRT display.

Machine language of the Z-80 CPU was used for the programming.

A program package enabling fast calculation was developed.

The shape of the robot was calculated and shown on the CRT display before it showed any movements.

Key words: Percutaneous nephrostomy, Robot

経皮的腎瘻術では、皮膚上の針の穿刺点と腎盂内の目的とする点が決まれば、針の方向・針の深さは自動的に決まってしまう。従来、穿刺術は、医師である人が超音波装置やX線装置で透視しながらおこなってきたが、穿刺部位と腎盂内の点を指定すれば、コンピューターで方向・深さを計算することができ、その結果でロボットを動作させれば、誰にでも経皮的腎瘻術をおこなうことができるようになるのではないかと考え、超音波装置に接続する実用可能な装置とソフトウェアを製作した。

装置とソフトウェアによってコンピュータに皮膚上の穿刺点と腎盂内の位置の座標を入力すること、呼吸停止可能な時間内にすべての動作が終了することを目的として製作した。Fig. 1 にロボットを模式的に示してある。各部分には次のような関係が成立つ。

$$X2 = X1 + L0 \cdot \cos(A0)$$

$$Y2 = Y1 + L0 \cdot \sin(A0)$$

$$X3 = X2 - L1 \cdot \cos(A0 + A1)$$

$$Y3 = Y2 - L1 \cdot \sin(A0 + A1)$$

$$X4 = X3 - L2 \cdot \cos(A0 + A1 + A2)$$

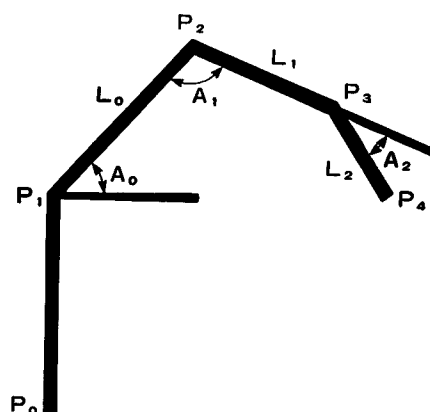


Fig. 1 ロボットの各部の名称

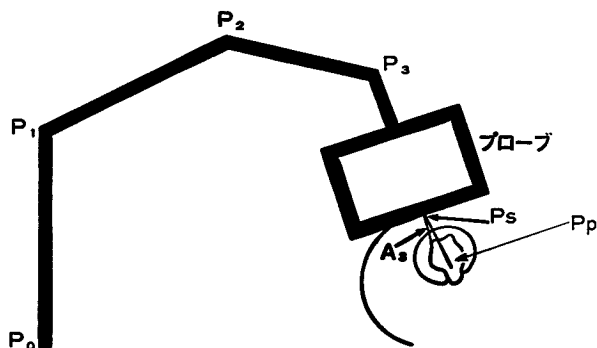


Fig. 2 ロボットにプローブを持たせたところ

$$Y4 = Y3 - L2 \cdot \sin(A0 + A1 + A2)$$

Fig. 2 はロボットに超音波プローブを持たせ、プローブを体表面に接触させたところを示している。Ps は皮膚上の穿刺点であるが、腎盂内の点 Pp は必ずしもプローブの方向ではなく、A3 という角度をコンピュータに知らせる必要がある。

このような状態で超音波像を観察したところを模式的に示すと Fig. 3 のようになる。ここで Ps, Pp のモニタテレビ上の座標を指示して Ps, Pp の位置がロボットの座標上でどの位置になるか計算する。Ps, Pp の位置はプローブの厚さを Lp とし、Ps-Pp の長さを Lps とすれば

$$Xps = X4 - Lp \cdot \cos(A0 + A1 + A2)$$

$$Yps = Y4 - Lp \cdot \sin(A0 + A1 + A2)$$

$$Xpp = Xps - Lps \cdot \cos(A0 + A1 + A2 + A3)$$

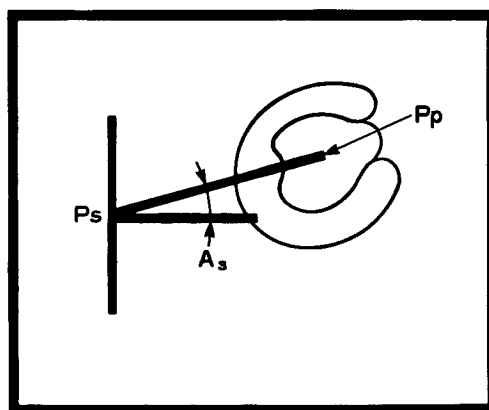
$$Ypp = Yps - Lps \cdot \sin(A0 + A1 + A2 + A3)$$

となる。

Ps, Pp の位置に針先がくるように逆に計算し、P2, P3, P4 の位置を計算し、A0, A1, A2 を求め、ロボ

ットに命令する。

Fig. 4 は、ロボットに針を持たせ針先が皮膚上の穿刺点に一致したところを示している。



Ps 皮膚上の穿刺点

Pp 腎盂内の点

Fig. 3 腎エコー像上の点の指示

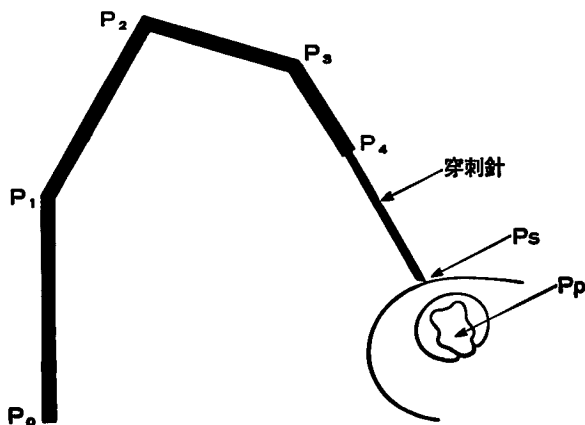


Fig. 4 穿 刺 前

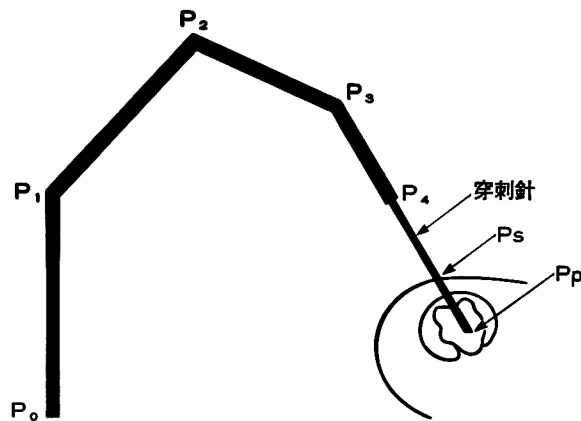


Fig. 5 穿 刺 後

Fig. 5 は、ロボットが針を腎盂まで挿入したところを示している。

以上のような動作をさせるには新しい装置とソフトウェアが必要となる。ハードウェアでは Video display processor (VDP) TMS 9918A を使用し、モニターテレビ上にロボットの形を表示する。コンピュータに皮膚上の穿刺位置 P_s と腎盂内の点 P_p の座標を入力するため、超音波装置からの NTSC 方式の画像に VDP 内で発生した記号を重ね合わせる装置を製作した。NTSC 方式のビデオ信号から同期信号を分離し、Phase locked loop (PLL) を使ってクロック信号を水平同期信号にロックさせた。

つぎにソフトウェアの改良について述べる。プログラム言語として Basic によるプログラムはスピードが遅く実用的でないのですべて機械語を使用した。機械語を使用したので、各データに応じた必要かつ十分なビット数・バイト数を選ぶことができ、スピードが大幅に向上した。

Z-80 という CPU を使用したので、他の 8 ビットの CPU ではむずかしいことであるが、32 ビットの四則演算・平方根の計算を、外部メモリーとのデータの入出力をおこなわずに実行することが可能となり、このこともスピード向上に役立った。計算は固定小数点による演算をおこない、演算結果を操作しながら有効桁数の減少を防止した。

三角関数の計算法は、従来テーラー展開による計算が一般的で無限級数で表わされるが、この方法の欠点は一定の値に収束するのに時間がかかることである。また、 $\cos^{-1}$ を求めることができないので $\tan^{-1}$ から求めなければならず計算が複雑になる。今回使用した三角関数の計算法は私が考案した方法を使用した。その特徴は、角度の単位はラジアンを使用しなくても

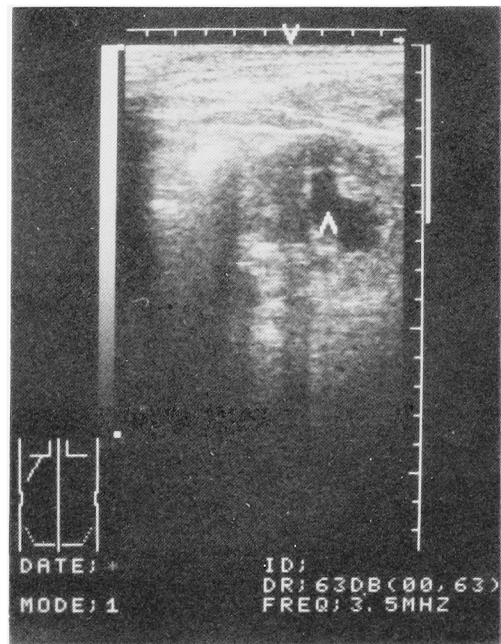


Fig. 6

良いこと、一定の回数計算すれば必ず一定の値に収束すること、 $\sin \cdot \cos$ は勿論 $\tan \cdot \sin^{-1} \cdot \cos^{-1}$ がほとんど同じ計算式で求めることができることである。本法がコルデイス法と一致するかどうか専門家に問い合わせたが、コルデイス法は一般には公開されておらず企業秘密のため確認することができなかった。

このような計算方法の改良の他、ロボットの形をモニターテレビ上にあらかじめ表示し、ロボットの動作前に、計算結果が正しいかどうか、異常動作が生じないかどうか確認できるようにした。また、超音波像を観察しながら皮膚上の穿刺点と腎盂内の点をコンピュ

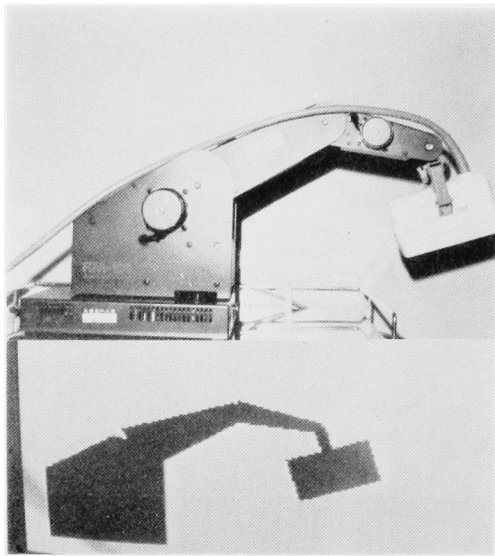


Fig. 7

ータに入力しなければならないのであるが、超音波プローブをロボットに持たせ、ロボットを動かしプローブを皮膚上にあて、腎の超音波像を観察し、目的とする点を VDP 内で発生した記号を移動させてコンピュータに位置を入力した。

以前は単なるロボットの各アームのなす角度の計算だけで、Basic プログラムでは約30秒を要したが、以上のようなハードウェア・ソフトウェアの改良により、各アームのなす角度の計算は勿論、ロボットの形を計算し、ロボットの形をモニターテレビ上に表示し、ロボットに命令を送り、ロボットが動作を開始するまでわずか0.5秒で実行可能となった。

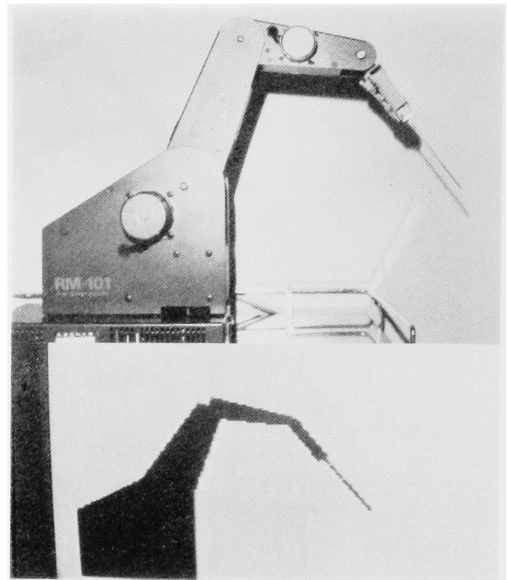


Fig. 8

Fig. 6 は超音波像を観察しながら VDP 内で発生した記号を目的とする点に移動し、コンピュータに座標を入力する方法を示している。Fig. 7 の上段はロボットに超音波プローブを持たせたところで、下段にはプローブを持ったロボットの形をモニターテレビ上に表示している。Fig. 8 の上段はロボットに針を持たせたところで、下段には針を持ったロボットの形をモニターテレビ上に表示している。

以上のようなハードウェア・ソフトウェアによって実用可能な装置を製作することができた。

(1984年12月28日受付)