

GIÁM SÁT VÀ ĐIỀU KHIỂN TỪ XA HOẠT ĐỘNG CỦA VI KẸP SỬ DỤNG VI ĐIỀU KHIỂN VÀ THỊ GIÁC MÁY TÍNH*

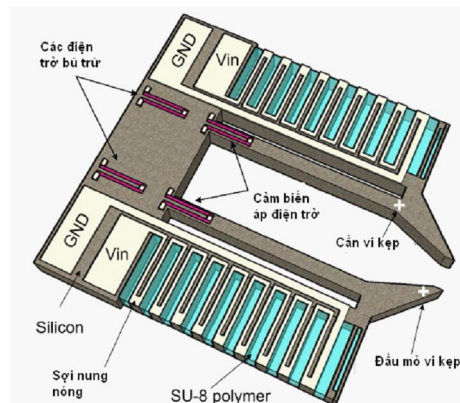
NGUYỄN VINH QUANG, CHỦ ĐỨC TRINH, TRẦN QUANG VINH

Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà nội

Abstract. Nowadays, microtools used for handling and manipulating particles or small components (sized in the micrometer range) are being used efficiently in many special applications like microassembly, microrobotics, control and positioning biologic cells, ect. This work presents the implementation a teleoperational system which is used for the supervision and control of a microgripper attached a force-sensing piezoresistive sensor in the level of microscope. Basing on the microcontroller and computer vision technologies, the system is designed. It can operate in the manual operating mode and also in the automatic mode through a virtual reality environment.

Tóm tắt. Ngày nay, các vi công cụ dùng cho thao tác và điều khiển các phần tử và linh kiện nhỏ có kích thước cỡ micrô mét đang được sử dụng hiệu quả trong nhiều ứng dụng đặc biệt như vi lắp ráp, vi robot, điều khiển và định vị các tế bào sinh học,... Bài báo này trình bày việc thực hiện một hệ thống hoạt động từ xa (teleoperation) được dùng cho việc giám sát và điều khiển các hoạt động của một vi kẹp có gắn cảm biến nhạy áp điện trở ở mức kính hiển vi. Hệ thống được thiết kế dựa trên công nghệ vi điều khiển và thị giác máy tính, có thể hoạt động trong các chế độ điều khiển trực tiếp bằng tay và tự động qua môi trường thực tại ảo.

1. GIỚI THIỆU



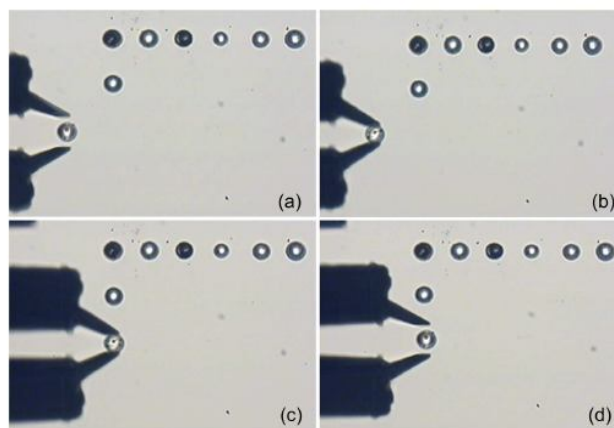
Hình 1. Bản vẽ của vi kẹp

*Nghiên cứu được hoàn thành dưới sự hỗ trợ từ đề tài cấp nhà nước KC.03.12/06-10 và đề tài QC. 07.02 cấp Đại học Quốc gia Hà Nội.

Các vi cảm biến và vi chấp hành được chế tạo trên công nghệ vi cơ điện tử MEMS [5] đã và đang được sử dụng rộng rãi ở những nhiệm vụ được thực hiện trong các môi trường có dải kích thước cỡ micrô mét. Đó là những ứng dụng như vi lắp ráp, vi rôbot, đo kích thước, điều khiển và di chuyển vị trí của các tế bào sinh học, tách, tiêm, mổ tế bào, ...[1, 2]. Vấn đề cần giải quyết ở đây là thực hiện công việc như thế nào với các thiết bị trong thế giới vi mô (microworld) bằng các thao tác trong thế giới vĩ mô (macroworld). Hiện nay, các hoạt động như vậy cũng thường được gán cho nghĩa “hoạt động từ xa”. Trong trường hợp này, hoạt động từ xa không mang nghĩa “thực hiện các công việc ở một khoảng cách xa về mặt địa lý” mà có nghĩa về sự thay đổi thang độ, kích cỡ của môi trường thao tác và các đối tượng được giám sát điều khiển. Như trong nghiên cứu dưới đây, ta có thể dùng một vi kẹp để gấp các vật nhỏ ở môi trường có kích thước cỡ micrô mét qua một kính hiển vi quang học (mức kính hiển vi) bằng các thao tác của người kỹ thuật viên trong thế giới vĩ mô của phòng thí nghiệm.

Nghiên cứu này sử dụng một vi kẹp (microgripper) được nhóm chế tạo bằng việc kết hợp một vi chấp hành nhiệt điện (electrothermal actuator) làm bằng vật liệu SU-8 silicon polymer và một cảm biến áp điện trở gắn lên các cần của vi kẹp. Hình 1 là bản vẽ thiết kế của vi kẹp có gắn cảm biến [3]. Chi tiết SU-8 với một lớp mỏng kim loại được thiết kế làm sợi nung nhiệt. Khi cấp một dòng điện qua sợi nung, do hiệu ứng nhiệt, vật liệu polimer bị giãn nở uốn cong dẫn đến các đầu mỏ kẹp có thể dịch chuyển được từ 8 đến 40 μm trong dải điện áp nung cho phép và nhiệt độ nhỏ hơn 100°C. Dải dịch chuyển này đủ cho thao tác với các vật nhỏ như tế bào trong không khí cũng như trong chất lỏng. Cùng lúc đó, cảm biến áp điện trở sẽ phát ra điện thế cảm nhận tỷ lệ với độ dịch chuyển của đầu kẹp (cố kết với cần kẹp) và lực tiếp xúc giữa đầu kẹp và vật.

Thế lối ra trên cảm biến áp điện trở và điện áp đặt vào vi chấp hành nhiệt điện là 2 thông số được dùng cho quá trình giám sát và điều khiển vi kẹp. Hình 2 là một thí dụ trong nghiên cứu điều khiển vi kẹp để gấp các viên vi cầu thủy tinh nhằm sắp xếp thành một dãy hình chữ L với các trạng thái vi kẹp tiếp cận một viên bi (Hình 2a), vi kẹp cặp một viên (b), vi kẹp chuyển viên bi tới vị trí mong muốn (c) và vi kẹp nhả viên bi ra (d).



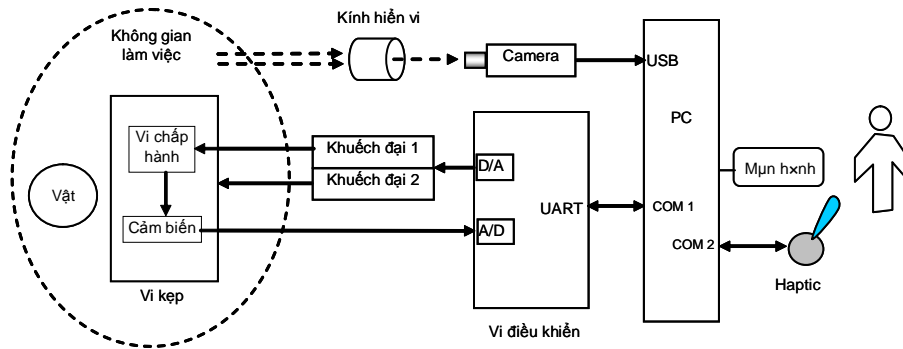
Hình 2. Ảnh các vi kẹp gấp các viên bi thủy tinh để sắp xếp thành chữ L

Báo cáo tập trung vào trình bày việc thiết kế xây dựng hệ thống xử lý các hoạt động kể

trên. Hệ thống bao gồm phần cứng và phần mềm ghép nối máy tính qua một vi điều khiển và áp dụng công nghệ thị giác máy tính.

2. THỰC HIỆN HỆ THỐNG

Sơ đồ khối của hệ thống được chỉ ra trên Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ khối của hệ thống giám sát và điều khiển vi kẹp

Các vật được kẹp và vi kẹp cùng cơ cấu dịch chuyển thân vi kẹp XYZ (manipulator) được đặt trên một bàn chống rung. Kính hiển vi quang học có gắn camera CCD tại thị kính sẽ bắt các khung hình ảnh trong không gian làm việc rồi truyền các số liệu tới máy vi tính qua kênh thông tin băng rộng USB. Chương trình thị giác máy tính sẽ dùng các số liệu này để hiển thị lên màn hình và xác định thông số của các đối tượng dùng cho giám sát và điều khiển quá trình (như các thông số đặc trưng cho nhận dạng vật, tính tọa độ của các điểm đặc trưng,...). Do sự di chuyển của đầu vi kẹp và lực tiếp xúc của nó với vật, cảm biến áp điện trở sẽ phát ra một thế phản hồi. Thế này được cấp tới bộ biến đổi tương tự-số ADC có sẵn trong một vi điều khiển. Các dữ liệu số biến đổi được chuyển tiếp qua cổng UART của vi điều khiển tới cổng vào/ra COM1 trên máy vi tính, là một cổng thông tin 2 chiều với chuẩn RS-232C.

Trong chế độ điều khiển tự động, chương trình trong máy tính PC sẽ dựa trên giá trị các dữ liệu kể trên để tính toán và quyết định xuất ra các lệnh điều khiển thông qua vi điều khiển. Một bộ biến đổi số-tương tự DAC có sẵn trong vi điều khiển sẽ biến đổi số liệu số của các lệnh này thành các điện áp tương tự (analog voltage) cấp tới vi chấp hành nhiệt điện của vi kẹp (qua khuếch đại 1) để kẹp hoặc nhả vật, hay tới cơ cấu dịch chuyển XYZ (qua khuếch đại 2) để dịch chuyển toàn bộ vi kẹp tới vị trí mong muốn.

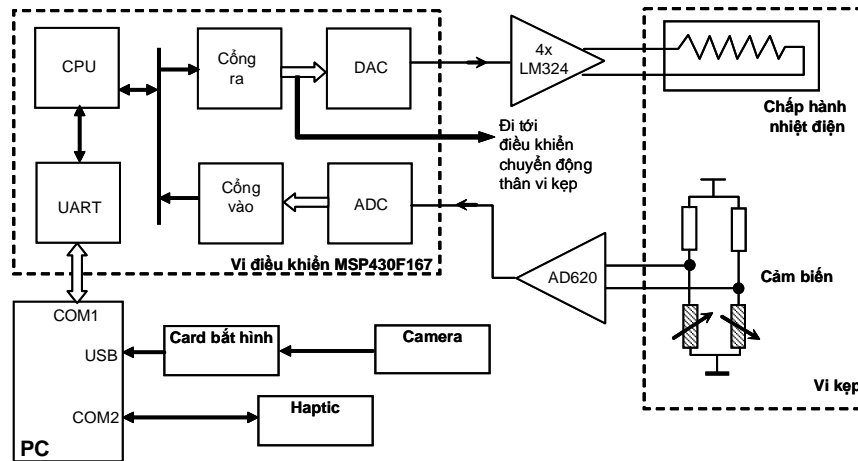
Trong chế độ điều khiển bằng tay trực tiếp từ kỹ thuật viên, các tín hiệu phản hồi lực tiếp xúc giữa hai mỏ kẹp và vật sẽ được cấp tới một cần điều khiển có phản hồi lực (Haptic) qua cổng COM2. Cùng với việc quan sát hình ảnh không gian làm việc trên màn hình máy tính, bằng các cơ cấu của Haptic, người điều khiển cũng cảm nhận được lực này qua xúc giác tay và quyết định thao tác đẩy/kéo cần để điều khiển sự dịch chuyển của vi kẹp. Độ dịch chuyển của cần Haptic tạo ra tín hiệu số tương ứng, thông qua hệ thống cho phép điều khiển các cơ cấu chấp hành ở mức kính hiển vi qua cổng COM2. Thiết kế này thực sự đã tạo nên một không gian thực tại ảo (virtual reality) cho hệ thống giám sát điều khiển.

Chúng tôi muốn đi sâu vào trình bày chi tiết 2 công đoạn chính đã được giải quyết cho việc xây dựng hệ thống: phần thứ nhất, xây dựng phần cứng và phần mềm cho việc ghép

nối giữa vi điều khiển với vi kẹp và máy tính; phần thứ hai, phát triển một chương trình đặc biệt dùng cho xử lý hình ảnh của không gian làm việc.

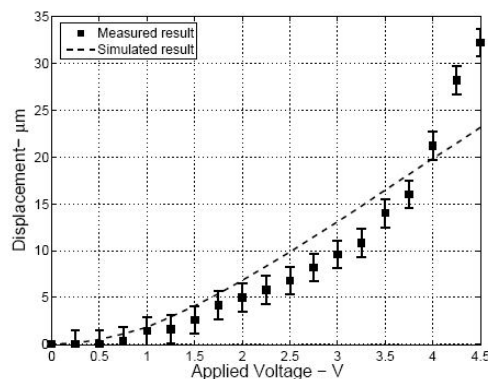
2.1. Xây dựng hệ thống ghép nối dùng vi điều khiển

Nghiên cứu sử dụng vi điều khiển MSP430F167 của hãng Texas Instruments cho việc phát triển hệ thống [4]. Sơ đồ khối của hệ thống điều khiển vòng kín được chỉ ra trên Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ khối của hệ thống điều khiển dùng vi xử lý MSP430F167

Vi kẹp được giám sát và điều khiển từ máy tính qua một bản mạch điều khiển. Các lệnh thao tác từ máy tính được gửi tới vi kẹp qua vi điều khiển MSP430F167. Được phát ra từ cảm biến áp điện trở trên cầu Wheatstone, tín hiệu phản hồi lực được khuếch đại qua bộ khuếch đại công cụ AD620, được biến đổi thành tín hiệu số qua bộ biến đổi ADC vào vi điều khiển rồi vào máy tính qua cổng COM1. Dựa trên sự so sánh giữa giá trị lực tham chiếu (điểm đặt) và giá trị lực phản hồi, chương trình máy tính xuất các số liệu điều khiển chuyển động của vi kẹp qua cổng này tới vi điều khiển. Số liệu từ vi điều khiển được xuất ra qua bộ biến đổi DAC thành điện áp tương tự, điện áp này được khuếch đại qua bộ khuếch đại công suất lắp trên 4 vi mạch LM324, rồi cấp tới vi chấp hành nhiệt điện để dịch chuyển đầu mỏ kẹp. Ngoài ra, hệ thống cũng cung cấp các tín hiệu số qua cổng ra vi điều khiển để điều khiển các mô-đun dịch chuyển thân vi kẹp đến các vị trí cần thiết.

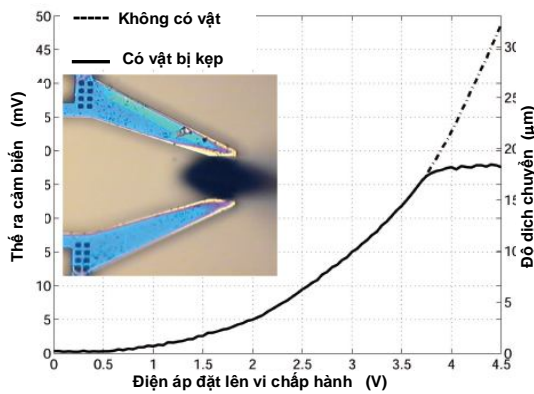


Hình 5. Sự phụ thuộc của độ dịch chuyển đầu kẹp vào điện áp cấp tới bộ chấp hành

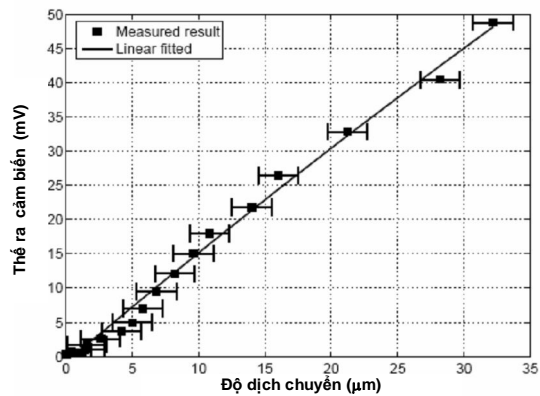
Hình 5 chỉ ra sự phụ thuộc đo được của độ dịch chuyển các đầu kẹp trong không khí khi có điện áp một chiều dc khác nhau đặt tới bộ chấp hành nhiệt điện.

Độ chính xác dịch chuyển được xác định với sai số $\pm 1,5 \mu\text{m}$. Sự dịch chuyển cực đại đo được là $32 \mu\text{m}$ khi điện áp đặt lên vi chấp hành nhiệt điện là $4,5 \text{ V}$. Do đó có thể nói, vi kẹp có khả năng thao tác với các vi đối tượng có đường kính giữa 8 và $40 \mu\text{m}$.

Sự phụ thuộc của thế lối ra cảm biến lực tiếp xúc vào điện áp đặt trên vi chấp hành nhiệt điện được chỉ ra trên Hình 6. Từ đó suy ra mối quan hệ trực tiếp giữa thế ra này vào độ dịch chuyển đầu mỏ kẹp trên Hình 7. Độ nhạy của cảm biến theo đường cong là $1,5 \text{ kV/m}$ và có độ tuyến tính cỡ 2% .

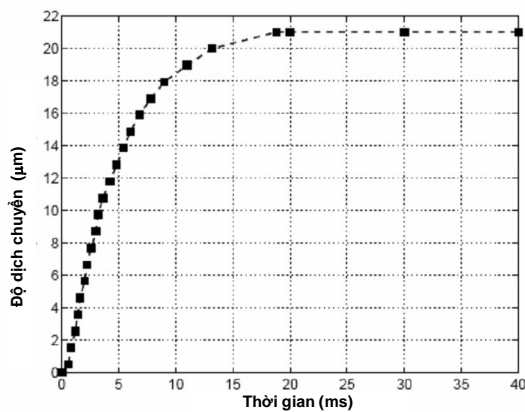


Hình 6. Sự phụ thuộc của thế lối ra cảm biến lực tiếp xúc vào điện áp đặt trên vi chấp hành nhiệt điện

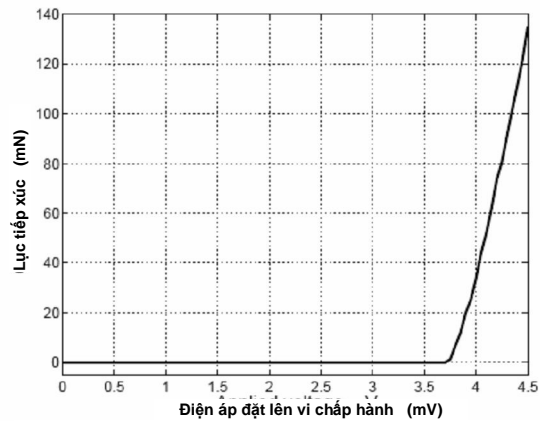


Hình 7. Sự phụ thuộc trực tiếp của thế lối ra cảm biến lực tiếp xúc vào độ dịch chuyển của đầu vi kẹp

Đáp ứng quá độ của vi kẹp khi tác dụng một điện áp nhảy bậc 4 V lên vi chấp hành cũng được khảo sát. Kết quả thu được trên Hình 8 cho một dịch chuyển cỡ $21 \mu\text{m}$ sau thời gian đáp ứng cỡ từ 13 đến 18 ms . Thời gian này là thỏa mãn với những thao tác khá nhanh so với các yêu cầu ứng dụng thực tế [8].



Hình 8. Đáp ứng thời gian của vi kẹp

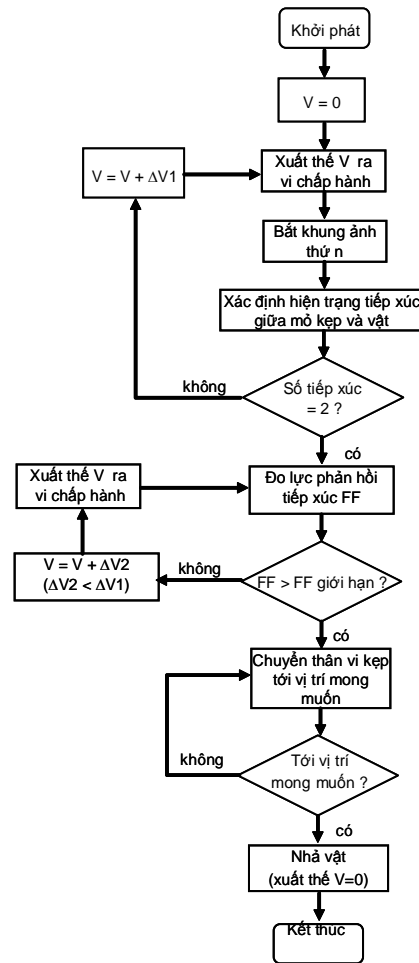


Hình 9. Lực tiếp xúc giữa các đầu vi kẹp và vật phụ thuộc vào điện áp đặt trên vi chấp hành nhiệt điện

Lực tiếp xúc giữa đầu kẹp và vật được kẹp có thể xác định được bởi sự dịch chuyển đầu

kẹp trong Hình 6 và bởi xem xét độ cứng của cần kẹp cỡ 1,8 kN/m [3]. Hình 9 chỉ ra lực tiếp xúc tính được của vi kẹp dùng trong thực nghiệm này. Lực tiếp xúc bằng không cho tới khi 2 đầu kẹp chạm cả vào vật ở điện áp cấp cho bộ chấp hành nhiệt điện là 3,75 V. Lực tiếp xúc lúc đó sẽ tăng lên tới 135 mN ở 4,5 V. Kết hợp các kết quả đo trong Hình 6 và các kết quả tính lực, cho ta độ nhạy của cảm biến lực này là cỡ 1,7 V/N.

Lưu đồ chương trình phần mềm cho đo và điều khiển vi kẹp được trình bày trên Hình 10 sau.



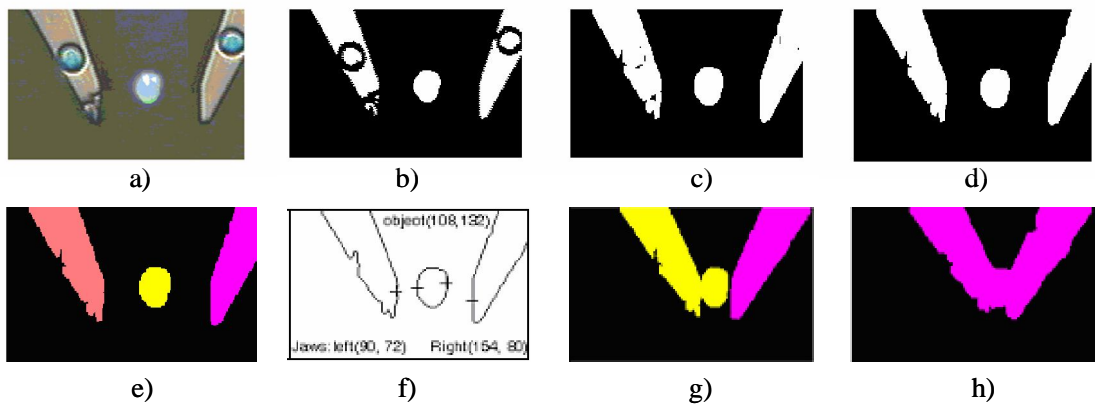
Hình 10. Lưu đồ chương trình đo và điều khiển vi kẹp bằng ghép nối vi điều khiển

2.2. Xác định các thông số và vị trí của các đối tượng bằng công nghệ thị giác máy tính

Trong lưu đồ phần mềm kể trên có một vài bước phải thực hiện để đo và xác định thông số của các đối tượng trong không gian làm việc. Các bước này là quan trọng để đảm bảo độ chính xác, độ tin cậy và tốc độ xử lý của hệ thống [6, 7]. Ngoài một cảm biến áp điện trở bên trong vi kẹp, hệ thống còn sử dụng một cảm biến hình ảnh là một camera đặt tại thị kính của kính hiển vi quang học và phát triển một chương trình phần mềm sử dụng công nghệ thị giác máy tính để thực hiện mục đích này.

Các vật và vi kẹp nằm trong thị trường của kính hiển vi quang học có độ phóng đại cỡ vài trăm lần. Qua thị kính của kính hiển vi, các khung hình ảnh của luồng video được bắt bởi camera CCD với tốc độ 15 khung trong một giây (fps) và độ phân giải hình ảnh 640×480 pixels. Trong trường hợp thao tác kẹp vật một cách tự động, chương trình điều khiển bằng hình ảnh tiến hành các thủ tục như sau:

1. Xuất một số gia điện áp tới bộ chấp hành nhiệt điện để dịch chuyển các đầu mỏ kẹp.
2. Khởi phát quá trình thu thập một khung ảnh màu và nạp số liệu vào bộ đệm máy tính.
3. Cắt lấy một phần số liệu hình ảnh cần thiết (crop) quanh vị trí trung tâm của hai đầu mỏ kẹp. Xử lý này nhằm làm giảm số lượng tính toán (do giảm số pixel điểm ảnh) nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác của các kết quả thu được. Hình 11a dưới đây chỉ ra hình ảnh của một vi vật nằm giữa 2 đầu vi kẹp.



Hình 11. Quá trình xử lý ảnh do các thông số và điều khiển vi kẹp

4. Lọc nhiễu và biến đổi ảnh màu thành ảnh đen trắng (ảnh nhị phân) với ngưỡng được chọn theo điều kiện sáng như Hình 11b.

5. Dẫn đường (dilation) và lấp các lỗ trống (filling) hình ảnh. Do không thể đạt được sự hoàn hảo trong quá trình chế tạo vi kẹp nên bề mặt của một số phần có thể không nhẵn (bị gồ ghề như đầu mỏ kẹp bên trái trong Hình 11a. Dưới điều kiện sáng nhất định, hình ảnh của các phần này bị gián đoạn như trong ảnh nhị phân 9b mặc dù chúng là liên tục về mặt vật liệu. Xử lý ảnh dilating và filling cho phép xóa nhòa các gián đoạn đó cho ta các Hình 11c và 11d.

6. Phân vùng và dán nhãn các vùng ảnh (labeling segmentation). Trong trường hợp này ảnh tồn tại 3 vùng gồm 2 mỏ kẹp và 1 vật cần kẹp như Hình 9e.

7. Tùy thuộc vào hình dạng và vị trí tương đối của vật với 2 mỏ kẹp mà chương trình quyết định tính các thông số của vật và mỏ kẹp như thế nào trong không gian làm việc. Chương trình cũng quyết định cách thức phát ra điện áp cấp cho bộ chấp hành nhiệt điện trong những khoảng thời gian cần thiết. Trong nghiên cứu này, chúng tôi phát triển một giải thuật được đặt tên là giải thuật “hai lần tiếp xúc” (the two contact algorithm) với điều kiện thực tế là: một vật sẽ được đẩy về phía trước nếu như bất kỳ một trong hai mỏ kẹp tiếp xúc với nó và tiếp tục được đẩy đến khi vật tiếp xúc với mỏ kẹp còn lại. Ý tưởng của giải thuật có thể được dẫn giải như sau:

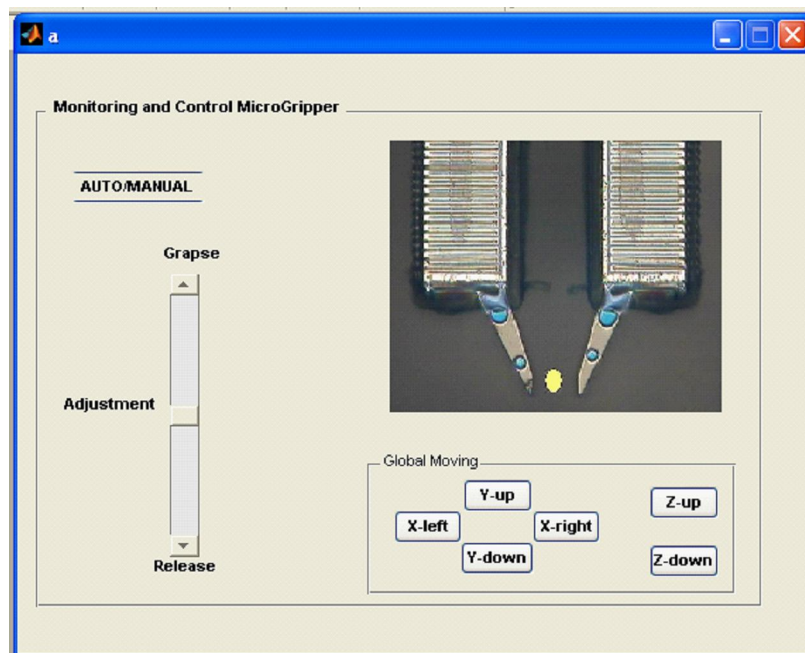
- Đầu tiên, chương trình xác định số vùng trong khung hình ảnh.

- Nếu số khung bằng 3, như trường hợp Hình 11e, điều đó có nghĩa chưa xảy ra một tiếp xúc nào. Chương trình tiếp tục xuất ra một số gia điện áp không đổi $\Delta V1$ tới bộ chấp hành điện nhiệt để gia tăng độ dịch chuyển các mỏ kẹp về hướng vật trong mỗi lần trước khi bắt khung ảnh để giám sát. Trong quá trình xử lý này, đường bao của các vùng, tọa độ của các điểm đặc trưng của các mỏ kẹp và vật luôn được tính toán xác định và được hiển thị trên mặt máy ảo tại màn hình máy tính như Hình 11f.

- Nếu số vùng bằng 2 (Hình 11g), điều đó có nghĩa là đã có 1 mỏ kẹp chạm vào vật. Chương trình tiếp tục phát ra điện áp với số gia như trên (tức là tốc độ gia tăng điện áp không đổi) cho tới khi mỏ kẹp thứ 2 chạm tới vật.

- Nếu số vùng còn lại bằng 1 (Hình 11h), có nghĩa là cả hai đầu kẹp đã chạm tới vật. Lúc này chương trình thay đổi chiến lược xuất điện áp ra. Số gia điện áp giảm xuống với $\Delta V2 < \Delta V1$ trong mỗi chu trình và chương trình bắt đầu kiểm tra lực tiếp xúc phản hồi về. Tùy thuộc vào loại vật liệu làm vật mà chương trình sẽ so sánh giá trị lực đo được với giá trị lực tiếp xúc tới hạn. Cho tới khi chúng bằng nhau thì chương trình ngừng gia tăng điện áp ($\Delta V = 0$) để vẫn kẹp vật với một lực tiếp xúc không đổi.

Chương trình đã tạo được một môi trường thực tại ảo thuận tiện cho điều khiển tự động và bán tự động, cho phép thao tác chính xác các vật với kích cỡ micrô mét. Mặt máy ảo cho giám sát và điều khiển hệ thống được chỉ ra trên Hình 12.



Hình 12. Mặt máy ảo cho đo và điều khiển vi kẹp

3. KẾT LUẬN

Hệ thống đã được thiết kế xây dựng và kết quả đo qua các thực nghiệm kể trên đã cho thấy khả năng ứng dụng trong thực tế cho các lĩnh vực của vi thao tác khi so sánh với các kết quả khác [8]. Do bản chất vi kẹp được chế tạo bằng công nghệ CMOS nên việc kết hợp

nó trên cùng một chip silicon với các mạch vi điện tử thực hiện các chức năng như của bản mạch lắp rời nói trên là hoàn toàn khả thi trong tương lai. Do dải hoạt động của vi kẹp có thể đạt được khá cao (tần số đến 30 Hz) nên để có thể giám sát và điều khiển nó bằng thị giác máy tính trong những trường hợp hoạt động với tốc độ như vậy (ví dụ cho các điều khiển như loại PID vị trí), cần phải có những hệ thống bắt và xử lý ảnh cũng như các giải thuật nhanh cho phép thu thập và xử lý đến hàng trăm khung ảnh trong một giây. Các công nghệ như DSP, FPGA hay ASIC cho thị giác máy tính là các hứa hẹn cho các mục tiêu loại này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] MC.Carozza, P.Dario, and L.P.S.Ray, Micromechanics in surgery, *Transactions of the Institute of Measurement and Control* **25** (4) (2003) 309–327.
- [2] J. Seyfried, S.Fatikow, et al., Manipulating in the microworld: Mobile microrobot and their applications, *Proc. International Symposium on Robotics (ISR)*, Montreal, Canada, May 14-17, 2000.
- [3] Chu Duc Trinh, “Sensing microgripper for microparticules handling”, PhD Thesis Delft University of Technology, The Neitherland, 2007.
- [4] Texas Instruments. “MSP430F167 Datasheet 16 bit - Ultra-low power MCU”, 2003.
- [5] Mohamed Gad-el-Hak, *The MEMS Handbook*, CRC press, 2002.
- [6] Dana H. Ballard, Christopher M. Brown, *Computer Vision*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Clifts, New Jersey 07632 1990.
- [7] Rafael C. Gonzalez Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458 2002.
- [8] Joseph Alex et. al. A virtual reality teleoperator interface for assembly of hybrid MEMS prototypes, *Proceeding of Design Engineering Technical Conference DETC98*, Atlanta, GA, 1998.

Nhận bài ngày 19 - 2 - 2008