



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0033163

(51)⁷ G06K 9/00

(13) B

(21) 1-2017-03823

(22) 28/09/2017

(30) 15/278,156 28/09/2016 US

(45) 25/09/2022 414

(43) 26/04/2018 361A

(73) Cognex Corporation (US)

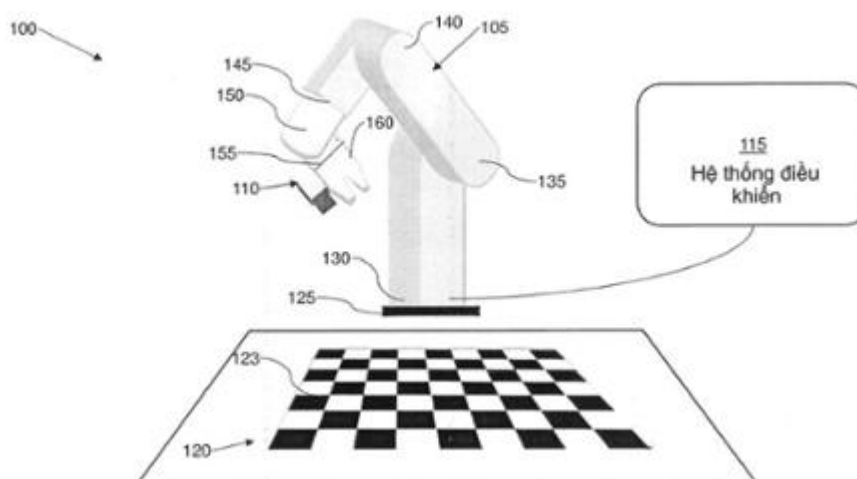
One Vision Drive, Natick, MA 01760, United States of America

(72) Lifeng Liu (US); Cyril C. Marrion (US); Tian Gan (US).

(74) Công ty TNHH Sở hữu trí tuệ Thảo Thọ Quyền (INVENCO.,LTD)

(54) HỆ THỐNG NHÌN MÁY VÀ PHƯƠNG PHÁP HIỆU CHUẨN ĐƯỢC THỰC HIỆN BỞI HỆ THỐNG NHÌN MÁY

(57) Sáng chế đề cập đến hệ thống nhìn máy và phương pháp hiệu chuẩn động học đồng thời tay mắt. Hệ thống nhìn máy bao gồm rô bốt hoặc sàn chuyển động và máy ảnh kết nối truyền thông với hệ thống điều khiển. Hệ thống điều khiển được cấu hình để di chuyển rô bốt hoặc sàn chuyển động đến các tư thế, và đối với mỗi tư thế: chụp ảnh các tính năng đích hiệu chuẩn và các góc khớp rô bốt hoặc số đếm bộ mã hóa sàn chuyển động. Hệ thống điều khiển được cấu hình để thu nhận giá trị ban đầu cho rô bốt hoặc các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động, và xác định giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt dựa trên các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt hoặc sàn chuyển động, hình ảnh, và góc khớp hoặc số đếm bộ mã hóa. Hệ thống điều khiển được cấu hình để xác định giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt và rô bốt hoặc các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động bằng cách tinh chỉnh các tham số hiệu chuẩn tay mắt và rô bốt hoặc tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động để cực tiểu hóa hàm chi phí.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Nói chung, sáng chế đề cập đến hệ thống nhìn máy, và cụ thể hơn đến hệ thống nhìn máy hiệu chuẩn bằng cách đồng thời tinh chỉnh xích động học của rô bốt/sàn chuyển động và các tham số hiệu chuẩn tay máy.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong hệ thống nhìn máy, một hoặc nhiều máy ảnh (máy ảnh) có thể được sử dụng để thực hiện các quy trình của hệ thống nhìn trên một đối tượng hoặc bề mặt bên trong cảnh được chụp. Các quy trình này có thể bao gồm việc kiểm tra, liên kết, và/hoặc các nhiệm vụ khác. Ảnh được chụp bởi một hoặc nhiều máy ảnh có thể được xử lý bằng hệ thống nhìn máy để xác định thông tin về các tính năng trong cảnh được chụp, chẳng hạn như vị trí thực tế, tư thế, v.v.. Trong một số ứng dụng, hệ thống nhìn máy có thể bao gồm rô bốt, sàn chuyển động, hoặc thiết bị khác có tư thế và chuyển động được điều khiển bởi hệ thống nhìn máy (ví dụ, ứng dụng VRG (Vision Guided Robot - rô bốt được dẫn hướng nhìn)). Ví dụ, hệ thống nhìn máy có thể phân tích hình ảnh chụp được bởi một hoặc nhiều máy ảnh để xác định cách di chuyển rô bốt hoặc sàn chuyển động để di chuyển hoặc tương tác với các đối tượng trong cảnh được chụp. Trong một số ứng dụng, hệ thống nhìn máy có thể được hiệu chuẩn để cho phép hệ thống nhìn máy thực hiện nhiệm vụ nhìn với độ chính xác và độ tin cậy tăng.

Vì vậy, tồn tại nhu cầu cải thiện độ chính xác và độ chuẩn xác của hệ thống nhìn máy hiện có bằng cách cải thiện mô hình động học của rô bốt/sàn chuyển động và hiệu chuẩn hệ thống nhìn máy.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Theo một số khía cạnh, sáng chế đề xuất hệ thống nhìn máy. Hệ thống nhìn máy này bao gồm rô bốt. Hệ thống nhìn máy bao gồm máy ảnh. Hệ thống nhìn máy bao gồm hệ thống điều khiển truyền thông với rô bốt và máy ảnh. Hệ thống điều khiển được tạo cấu hình để di chuyển rô bốt đến nhiều tư thế, và với mỗi tư thế trong số các tư thế: chụp, bằng máy ảnh, hình ảnh của một hoặc nhiều tính năng

trên mục tiêu hiệu chuẩn và chụp các góc khớp của rô bốt. Hệ thống điều khiển được cấu hình để thu nhận các giá trị ban đầu cho nhiều tham số hiệu chuẩn của rô bốt. Hệ thống điều khiển được cấu hình để xác định các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt dựa trên các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn của rô bốt, và hình ảnh và các góc khớp rô bốt được chụp cho mỗi trong số các tư thế. Hệ thống điều khiển được cấu hình để xác định các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt và các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn của rô bốt bằng cách tinh chỉnh một hoặc nhiều trong số các tham số hiệu chuẩn tay- mắt và một hoặc nhiều trong số các tham số hiệu chuẩn của rô bốt để cực tiểu hóa chi phí.

Theo một số phương án, hệ thống điều khiển còn được cấu hình để sử dụng các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt và các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt cho ứng dụng rô bốt được dẫn hướng nhìn. Theo một số phương án, hệ thống điều khiển còn được cấu hình để di chuyển rô bốt bằng cách sử dụng các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn của rô bốt.

Theo một số phương án, hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa vị trí quan sát của một tính năng trong hình ảnh được chụp cho tư thế đó và vị trí dự kiến của tính năng này, vị trí dự kiến được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, và các góc khớp rô bốt được chụp cho tư thế này. Theo một số phương án, hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa phép biến đổi phức hợp và phép biến đổi nhận dạng, phép biến đổi phức hợp là một thành phần của phép biến đổi thứ nhất từ một không gian tọa độ thứ nhất sang một không gian tọa độ thứ hai và phép biến đổi thứ hai từ không gian tọa độ thứ hai sang không gian tọa độ thứ nhất, phép biến đổi thứ nhất và phép biến đổi thứ hai được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất của các giá trị cho các tham số hiệu chuẩn của rô bốt, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, các tính năng được quan sát của mục tiêu hiệu chuẩn cho tư thế, và các góc khớp rô bốt được chụp cho tư thế. Theo một số phương án, hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa góc khớp rô bốt trong số các góc khớp rô bốt chụp được cho các tư thế và

góc khớp ước tính cho tư thế, góc khớp ước tính được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn của rô bốt, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt và các tính năng quan sát được của mục tiêu hiệu chuẩn cho tư thế.

Theo một số phương án, hệ thống điều khiển còn được cấu hình để cực tiểu hóa hàm chi phí sử dụng phương pháp bình phương phi tuyến nhỏ nhất. Theo một số phương án, hệ thống điều khiển được cấu hình để tinh chỉnh ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn tay mắt và ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn của rô bốt. Theo một số phương án, các tham số hiệu chuẩn của rô bốt bao gồm các tham số Denavit-Hartenberg cho rô bốt.

Theo một khía cạnh khác, sáng chế đề xuất phương pháp hiệu chuẩn hệ thống nhìn máy. Phương pháp này bao gồm bước di chuyển, bởi hệ thống điều khiển, rô bốt đến nhiều tư thế, và với mỗi tư thế trong số các tư thế: chụp, bởi máy ảnh, hình ảnh của một hoặc nhiều tính năng trên mục tiêu hiệu chuẩn và chụp, bởi hệ thống điều khiển, các góc khớp rô bốt. Phương pháp này bao gồm việc thu nhận, bởi hệ thống điều khiển, các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn của rô bốt. Phương pháp này còn bao gồm việc xác định, bằng hệ thống điều khiển, các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt dựa trên các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn của rô bốt, và hình ảnh và các góc khớp rô bốt được chụp cho mỗi trong số các tư thế. Phương pháp bao gồm việc xác định, bằng hệ thống điều khiển, các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt và các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn của rô bốt bằng cách tinh chỉnh một hoặc nhiều tham số hiệu chuẩn tay mắt và một hoặc nhiều tham số hiệu chuẩn rô bốt để cực tiểu hóa hàm chi phí.

Theo một số phương án, hàm chi phí đo lường, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa vị trí quan sát được của tính năng trong hình ảnh chụp cho tư thế và vị trí dự kiến của tính năng, vị trí dự kiến được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn của rô bốt, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, và các góc khớp rô bốt được chụp cho tư thế. Theo một số phương án, hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa phép biến đổi phức hợp và phép biến đổi nhận dạng, phép biến đổi phức hợp là một thành phần của phép biến đổi thứ nhất từ một không

gian tọa độ thứ nhất sang một không gian tọa độ thứ hai và phép biến đổi thứ hai từ không gian tọa độ thứ hai sang không gian tọa độ thứ nhất, phép biến đổi thứ nhất và phép biến đổi thứ hai được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất của các giá trị cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, các tính năng quan sát được của mục tiêu hiệu chuẩn cho tư thế, và các góc khớp rô bốt được chụp cho tư thế. Theo một số phương án, hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa góc khớp rô bốt trong số các góc khớp rô bốt được chụp cho tư thế và góc khớp ước tính cho tư thế, góc khớp ước tính được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn của rô bốt, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt và các tính năng quan sát được của mục tiêu hiệu chuẩn cho tư thế.

Theo một số phương án, phương pháp bao gồm việc cực tiểu hóa hàm chi phí bằng cách sử dụng phương pháp bình phương phi tuyến tối thiểu. Theo một số phương án, phương pháp bao gồm việc tinh chỉnh ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn tay mắt và ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn của rô bốt. Theo một số phương án, các tham số hiệu chuẩn của rô bốt bao gồm các tham số Denavit-Hartenberg cho rô bốt.

Theo một khía cạnh khác, sáng chế đề xuất hệ thống nhìn máy. Hệ thống nhìn máy bao gồm một sàn chuyển động. Hệ thống nhìn máy bao gồm máy ảnh. Hệ thống nhìn máy bao gồm hệ thống điều khiển truyền thông với sàn chuyển động và máy ảnh. Hệ thống điều khiển được cấu hình để di chuyển sàn chuyển động đến nhiều tư thế, và với mỗi tư thế trong số các tư thế: chụp, bằng máy ảnh, hình ảnh của một hoặc nhiều tính năng trên mục tiêu hiệu chuẩn và chụp các số đếm bộ mã hóa cho các bộ kích hoạt của sàn chuyển động. Hệ thống điều khiển được cấu hình để thu nhận các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động. Hệ thống điều khiển được cấu hình để xác định các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt dựa trên các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động, và hình ảnh và các số đếm bộ mã hóa được ghi lại cho mỗi trong số các tư thế. Hệ thống điều khiển được cấu hình để xác định các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt và các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động bằng cách tinh chỉnh

một hoặc nhiều tham số hiệu chuẩn tay mắt và một hoặc nhiều tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động để cực tiểu hóa hàm chi phí.

Theo một số phương án, hệ thống điều khiển còn được cấu hình để sử dụng các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt và các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động cho ứng dụng sàn chuyển động được dẫn hướng nhìn. Theo một số phương án, hệ thống điều khiển còn được cấu hình để di chuyển sàn chuyển động sử dụng các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động.

Theo một số phương án, hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa vị trí quan sát được của một tính năng trong hình ảnh chụp cho tư thế và vị trí dự kiến của tính năng, vị trí dự kiến được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, và các số đếm bộ mã hóa thu được cho tư thế. Theo một số phương án, hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa số đếm bộ mã hóa trong số các số đếm bộ mã hóa được ghi lại cho tư thế và số đếm bộ mã hóa ước tính cho tư thế đó, số đếm bộ mã hóa ước tính được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, và các tính năng quan sát được của mục tiêu hiệu chuẩn cho tư thế đó.

Theo một số phương án, hệ thống điều khiển còn được cấu hình để cực tiểu hóa hàm chi phí sử dụng phương pháp bình phương phi tuyến tối thiểu. Theo một số phương án, hệ thống điều khiển được cấu hình để tinh chỉnh ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn tay mắt và ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động. Theo một số phương án, các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động bao gồm một hoặc nhiều vị trí trung tâm con lăn, bán kính con lăn, hướng, kích cỡ bước, số đếm bộ mã hóa chủ và hướng đĩa cho bộ kích hoạt.

Theo một khía cạnh khác, sáng chế đề xuất phương pháp hiệu chuẩn hệ thống nhìn máy. Phương pháp này bao gồm việc di chuyển, bởi hệ thống điều khiển, sàn chuyển động đến nhiều tư thế, và với mỗi tư thế trong số các tư thế: chụp, bằng máy ảnh, hình ảnh của một hoặc nhiều tính năng trên mục tiêu hiệu chuẩn; và thu nhận, bởi hệ thống điều khiển, số đếm bộ mã hóa cho nhiều bộ kích hoạt của sàn chuyển động. Phương pháp này bao gồm việc thu nhận, bởi hệ

thống điều khiển, các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động. Phương pháp bao gồm việc xác định, bằng hệ thống điều khiển, các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt dựa trên các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động và hình ảnh và số đếm bộ mã hóa thu được cho mỗi trong số các tư thế. Phương pháp bao gồm việc xác định, bằng hệ thống điều khiển, các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt và các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động bằng cách tinh chỉnh một hoặc nhiều tham số hiệu chuẩn tay mắt và một hoặc nhiều tham số hiệu chuẩn sản chuyển động để cực tiểu hóa hàm chi phí.

Theo một số phương án, hàm chi phí đo lường, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa vị trí quan sát được của một tính năng trong hình ảnh chụp cho tư thế và vị trí dự kiến của tính năng, vị trí dự kiến này được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, và các số đếm bộ mã hóa thu được cho tư thế đó. Theo một số phương án, hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế của trong số các tư thế, sự khác biệt giữa số đếm bộ mã hóa trong số các số đếm bộ mã hóa được ghi lại cho tư thế và số đếm bộ mã hóa ước tính cho tư thế, số đếm bộ mã hóa ước tính được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, và nhiều tính năng quan sát được của mục tiêu hiệu chuẩn cho tư thế.

Theo một số phương án, phương pháp bao gồm việc cực tiểu hóa hàm chi phí bằng cách sử dụng phương pháp bình phương phi tuyến tối thiểu. Theo một số phương án, phương pháp bao gồm việc tinh chỉnh ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn tay mắt và ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động. Theo một số phương án, các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động bao gồm một hoặc nhiều vị trí trung tâm con lăn, bán kính con lăn, hướng, kích cỡ bước, bộ mã hóa chủ và hướng đĩa cho bộ kích hoạt.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 là sơ đồ thể hiện hệ thống nhìn máy theo sáng chế;

Fig.2 là sơ đồ thể hiện hệ thống nhìn máy theo phương án khác của sáng chế;

Fig.3 là sơ đồ thể hiện sơ đồ hiệu chuẩn theo sáng chế;

Fig.4 là lưu đồ thể hiện phương pháp hiệu chuẩn hệ thống nhìn máy theo sáng chế;

Fig.5 là sơ đồ thể hiện sơ đồ hiệu chuẩn theo sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Hệ thống nhìn máy hiệu chuẩn chính xác cho các ứng dụng VRG có thể rất quan trọng. Phương pháp hiện hành để hiệu chuẩn hệ thống nhìn máy này (ví dụ, hệ thống nhìn máy với rô bốt, sàn chuyển động, hoặc thiết bị khác) có thể dẫn đến hệ thống nhìn máy mà không có sự chính xác cần thiết cho nhiều ứng dụng. Ví dụ, trong nhiều trường hợp, việc hiệu chuẩn hệ thống nhìn máy dựa trên các giá trị tham số hiệu chuẩn động học (ví dụ, giá trị tham số hiệu chuẩn rô bốt hoặc giá trị tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động) được cung cấp bởi các nhà sản xuất rô bốt hoặc sàn chuyển động có thể dẫn đến độ chính xác không thích hợp của hệ thống nhìn máy. Các công nghệ theo sáng chế có thể cải thiện độ tin cậy và độ chính xác của hệ thống nhìn máy cho các ứng dụng VRG bằng cách sử dụng các kỹ thuật hiệu chuẩn hiệu quả để tinh chỉnh các tham số hiệu chuẩn động học và các tham số hiệu chuẩn tay mắt. Công nghệ này có thể được sử dụng để xác định chính xác hơn giá trị tham số hiệu chuẩn, bao gồm các tham số hiệu chuẩn tay mắt và các tham số hiệu chuẩn động học, trong một tính toán tinh chỉnh dựa trên các số đo được xác định bởi hệ thống nhìn máy. Có lợi, công nghệ này có thể tăng độ chính xác của hệ thống nhìn máy thông qua việc hiệu chuẩn cải thiện mà không cần, ví dụ, yêu cầu các mục tiêu hiệu chuẩn thêm, máy ảnh bổ sung, hoặc các thiết bị đo lường bên ngoài.

I. Hệ thống nhìn máy

Fig.1 thể hiện hệ thống nhìn máy 100. Hệ thống nhìn máy 100 có thể được sử dụng, ví dụ, đối với các ứng dụng VRG. Hệ thống nhìn máy 100 bao gồm rô bốt 105 với máy ảnh 110 gắn trên đó, và hệ thống điều khiển 115. Fig.1 thể hiện cấu hình máy ảnh chuyển động (ví dụ, máy ảnh 110 được gắn trên cánh tay của rô bốt 105). Trên Fig.1, mục tiêu hiệu chuẩn 120 có các tính năng 123

được thể hiện. Máy ảnh 110 có thể là máy ảnh quét vùng bao gồm cảm biến máy ảnh CCD hai chiều, cảm biến máy ảnh CMOS hai chiều hoặc bất kỳ loại cảm biến máy ảnh nào khác để tạo ra hình ảnh. Hệ thống điều khiển 115 có thể là hệ thống xử lý bất kỳ (ví dụ, bộ xử lý nhìn máy nhúng, thiết bị tính toán, v. v.).

Hệ thống điều khiển 115 truyền thông với rô bốt 105 và máy ảnh 110. Hệ thống điều khiển 115 có thể nhận dữ liệu hình ảnh từ máy ảnh 110 và điều khiển tư thế của rô bốt 105. Trong một số phương án, hệ thống điều khiển 115 có thể là một phần của thiết bị tính toán độc lập. Trong một số phương án, hệ thống điều khiển 115 có thể là một phần của rô bốt 105. Trong một số phương án, hệ thống điều khiển 115 có thể là một phần của máy ảnh 110. Khi hoạt động, hệ thống điều khiển 115 có thể thao tác tư thế của rô bốt 105, ví dụ, dựa trên việc phân tích các dữ liệu hình ảnh từ máy ảnh 110. Để đơn giản, hệ thống điều khiển 115 được thể hiện là bộ phận duy nhất. Theo một số phương án, hệ thống điều khiển có thể bao gồm bộ điều khiển chuyển động (ví dụ, bộ điều khiển rô bốt) và bộ xử lý nhìn máy phối hợp làm việc cùng với nó. Theo một số phương án, bộ điều khiển chuyển động có thể là hệ thống nhìn máy hiệu chuẩn chủ. Ví dụ, bộ điều khiển chuyển động có thể giao tiếp với và hướng các hoạt động của bộ xử lý nhìn máy. Bộ điều khiển chuyển động có thể điều khiển tư thế và chuyển động của rô bốt và làm cho bộ xử lý nhìn máy thu nhận hình ảnh. Bộ điều khiển chuyển động có thể cung cấp thông tin tư thế tới bộ xử lý nhìn máy và làm cho bộ xử lý nhìn máy thực hiện việc hiệu chuẩn được mô tả ở đây. Theo một số phương án, bộ xử lý nhìn máy có thể là hệ thống nhìn máy chủ. Ví dụ, bộ xử lý nhìn máy có thể giao tiếp với và chỉ đạo các hoạt động của bộ điều khiển chuyển động. Bộ xử lý nhìn máy có thể làm cho bộ điều khiển chuyển động điều khiển tư thế và chuyển động của rô bốt, và cung cấp thông tin tư thế tới bộ xử lý nhìn máy. Bộ xử lý nhìn máy có thể thu nhận ảnh và thực hiện hiệu chuẩn được mô tả ở đây. Theo một số phương án, bộ điều khiển chuyển động và bộ điều khiển nhìn máy có thể được tích hợp. Ví dụ, một hoặc nhiều nhân bộ xử lý của hệ thống điều khiển có thể điều khiển chuyển động rô bốt và một hoặc nhiều nhân bộ xử lý của hệ thống điều khiển có thể thực hiện xử lý nhìn máy như hiệu chuẩn.

Hệ thống nhìn máy 100 có thể được hiệu chuẩn. Như sẽ được mô tả chi tiết hơn dưới đây, hệ thống 100 có thể được hiệu chuẩn để cho phép phép biến đổi tọa độ giữa không gian tọa độ ảnh của máy ảnh 110, không gian tọa độ của rô bốt 105, và không gian tọa độ của mục tiêu hiệu chuẩn 120. Bằng cách sử dụng hiệu chuẩn, hệ thống điều khiển 115 có thể hướng dẫn tay rô bốt 160 đến vị trí chính xác trong không gian tọa độ của mục tiêu hiệu chuẩn 120 hoặc trong không gian tọa độ cơ sở của rô bốt. Hệ thống điều khiển 115 có thể còn xác định vị trí của các đối tượng được quan sát trong dữ liệu hình ảnh từ máy ảnh 110 bằng cách sử dụng hiệu chuẩn và thông tin về các góc của các khớp của rô bốt 105. Có lợi, việc hiệu chuẩn cho phép hệ thống nhìn máy điều khiển chuyển động của cánh tay rô bốt 160 và sử dụng nó để tương tác với và/hoặc thao tác đối tượng của thực tế (ví dụ, trong không gian tọa độ của mục tiêu hiệu chuẩn 120).

Fig.2 thể hiện hệ thống nhìn máy 200. Hệ thống nhìn máy 200 có thể được sử dụng, ví dụ, đối với các ứng dụng VRG. Hệ thống nhìn máy 200 bao gồm sàn chuyển động 205, máy ảnh 210, và hệ thống điều khiển 215. Như được thể hiện, máy ảnh 210 có thể được gắn trên sàn chuyển động 205 để chụp hình ảnh mặt trên cùng của sàn chuyển động 205. Theo phương án được thể hiện, máy ảnh 210 được gắn trong cố định so với đế 208 của sàn chuyển động 205 (ví dụ, bảng 209 của sàn chuyển động 205 có thể di chuyển tương đối so với máy ảnh 210). Máy ảnh 210 có thể là máy quét vùng bao gồm cảm biến máy ảnh CCD hai chiều, cảm biến máy ảnh hai chiều CMOS hoặc bất kỳ loại cảm biến máy ảnh nào để tạo ra hình ảnh. Hệ thống điều khiển 215 có thể là hệ thống xử lý bất kỳ (ví dụ, bộ xử lý nhìn máy nhúng, thiết bị điện toán, v. v.). Trên Fig.2, mục tiêu hiệu chuẩn 220 có các tính năng 223 được thể hiện.

Hệ thống điều khiển 215 truyền thông với sàn chuyển động 205 và máy ảnh 210. Hệ thống điều khiển có thể nhận dữ liệu hình ảnh từ máy ảnh 210 và điều khiển tư thế của sàn chuyển động 205. Trong một số phương án, hệ thống điều khiển 215 có thể là một phần của thiết bị điện toán độc lập. Trong một số phương án, hệ thống điều khiển 215 có thể là một phần của sàn chuyển động 205. Trong một số phương án, hệ thống điều khiển 215 có thể là một phần của máy ảnh 210. Trong hoạt động, hệ thống điều khiển 215 có thể thay đổi tư thế

của sản chuyển động 205, ví dụ, dựa trên việc phân tích dữ liệu hình ảnh từ máy ảnh 210. Để đơn giản, hệ thống điều khiển 215 được thể hiện như là một bộ phận duy nhất. Theo một số phương án, hệ thống điều khiển có thể bao gồm bộ điều khiển chuyển động (ví dụ, bộ điều khiển sản chuyển động) và bộ xử lý nhìn máy làm việc cùng với nó. Theo một số phương án, bộ điều khiển chuyển động có thể là hệ thống nhìn máy chủ. Ví dụ, bộ điều khiển chuyển động có thể giao tiếp với và điều khiển các hoạt động của bộ xử lý nhìn máy. Bộ điều khiển chuyển động có thể điều khiển tư thế và chuyển động của sản chuyển động và làm cho bộ xử lý nhìn máy thu nhận hình ảnh. Bộ điều khiển chuyển động có thể cung cấp thông tin tư thế tới bộ xử lý nhìn máy và làm cho bộ xử lý nhìn máy thực hiện việc hiệu chuẩn như được mô tả ở đây. Theo một số phương án, bộ xử lý nhìn máy có thể là hệ thống nhìn máy chủ. Ví dụ, bộ xử lý nhìn máy có thể giao tiếp với và điều khiển các hoạt động của bộ điều khiển chuyển động. Bộ xử lý nhìn máy có thể làm cho bộ điều khiển chuyển động điều khiển tư thế và chuyển động của sản chuyển động, và cung cấp thông tin tư thế tới bộ xử lý nhìn máy. Bộ xử lý nhìn máy có thể thu nhận ảnh và thực hiện hiệu việc hiệu chuẩn được mô tả ở đây. Theo một số phương án, bộ điều khiển chuyển động và bộ điều khiển nhìn máy có thể được tích hợp. Ví dụ, một hoặc nhiều nhân bộ xử lý của hệ thống điều khiển có thể điều khiển chuyển động của sản chuyển động và một hoặc nhiều nhân bộ xử lý của hệ thống điều khiển có thể thực hiện xử lý nhìn máy như hiệu chuẩn.

Theo sáng chế, hệ thống nhìn máy 200 có thể được hiệu chuẩn. Như sẽ được mô tả chi tiết hơn dưới đây, hệ thống 200 có thể được hiệu chuẩn để cho phép phép biến đổi tọa độ giữa không gian tọa độ hình ảnh của máy ảnh 210, không gian tọa độ của sản chuyển động 205, và không gian tọa độ của mục tiêu hiệu chuẩn 220. Bằng cách sử dụng việc hiệu chuẩn, hệ thống điều khiển 215 có thể dịch và/hoặc xoay sản chuyển động 205 đến tư thế chính xác trong không gian tọa độ của mục tiêu hiệu chuẩn 220 hoặc trong không gian tọa độ của sản chuyển động 205. Hệ thống điều khiển 215 có thể còn xác định vị trí của đối tượng quan sát thấy trong dữ liệu hình ảnh từ máy ảnh 210 bằng cách sử dụng việc hiệu chuẩn và thông tin về bộ kích hoạt của sản chuyển động 105. Có lợi, việc hiệu chuẩn cho phép hệ thống nhìn máy 200 điều khiển chuyển động

của sàn chuyển động 205 và sử dụng nó để di chuyển đối tượng thực tế trên bề mặt của nó (ví dụ, trong không gian tọa độ của mục tiêu hiệu chuẩn 220).

Cần phải hiểu rằng các phương án được mô tả chỉ đơn giản là cấu hình hệ thống nhìn máy điển hình. Theo một số phương án, hệ thống nhìn máy có thể bao gồm các loại rô bốt khác, các loại sàn chuyển động khác, hoặc các thiết bị khác có chuyển động có thể được điều khiển bởi hệ thống nhìn máy. Theo một số phương án, máy ảnh có thể được gắn vào rô bốt hoặc sàn chuyển động, hoặc kết cấu độc lập của rô bốt hoặc sàn chuyển động (ví dụ, kịch bản máy ảnh cố định và/hoặc máy ảnh di chuyển). Theo một số phương án, có thể sử dụng nhiều hơn một máy ảnh. Theo một số phương án, rô bốt hoặc sàn chuyển động có thể tương tác với nhiều không gian làm việc.

II. Việc hiệu chuẩn

Công nghệ theo sáng chế có thể hỗ trợ việc cải thiện tính chính xác của hệ thống nhìn máy bằng cách cung cấp kỹ thuật hiệu quả để tinh chỉnh các giá trị tham số hiệu chuẩn. Nói chung, các tham số hiệu chuẩn có thể bao gồm các tham số hiệu chuẩn tay mắt, đã được biết đến trong lĩnh vực. Trong trường hợp của hệ thống nhìn máy với rô bốt, các tham số hiệu chuẩn có thể bao gồm các tham số hiệu chuẩn rô bốt. Trong trường hợp hệ thống nhìn máy có sàn chuyển động, các tham số hiệu chuẩn có thể bao gồm các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động. Tham số hiệu chuẩn số rô bốt và/hoặc tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động có thể được gọi là tham số hiệu chuẩn động học. Đối với rô bốt, tham số hiệu chuẩn rô bốt có thể bao gồm các tham số Denavit-Hartenberg (tham số D - H) được sử dụng để mô tả, ví dụ, các liên kết và các khớp của rô bốt. Một ví dụ khác, sàn chuyển động UVW là sàn chuyển động mà có thể, ví dụ, bao gồm hai bộ kích hoạt di chuyển theo hướng X, và bộ kích hoạt di chuyển theo hướng Y. Đối với sàn chuyển động UVW, các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động có thể bao gồm, đối với mỗi bộ kích hoạt, vị trí trung tâm của con lăn, bán kính của con lăn, hướng của bộ kích hoạt, kích thước bước của bộ kích hoạt, số đếm bộ mã hóa chủ của bộ kích hoạt, và hướng của bộ kích hoạt. Một ví dụ khác, sàn chuyển động XY Theta là sàn chuyển động mà có thể, ví dụ, bao gồm bộ kích hoạt để dịch tuyến tính dọc theo trục X, bộ kích hoạt để dịch tuyến tính dọc theo trục Y, và bộ kích hoạt theta cung cấp chuyển động quay. Đối với

sản chuyển động XY Theta, các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động có thể bao gồm, hướng và kích thước bước cho mỗi bộ kích hoạt X và Y, và vị trí trung tâm của con lăn và bán kính, hướng và kích thước bước của bộ kích hoạt, hướng đĩa cho bộ kích hoạt theta. Tổng quát hơn, công nghệ theo sáng chế có thể được sử dụng để hiệu chuẩn các thiết bị chuyển động mà có thể được mô hình hình học được. Ví dụ, công nghệ này có thể được sử dụng để hiệu chuẩn các thiết bị chuyển động mà hình học của chúng có thể được biểu diễn với các giá trị tham số hiệu chuẩn.

A. Hiệu chuẩn cho hệ thống nhìn máy hiệu chuẩn với rô bốt

Công nghệ này có thể tinh chỉnh giá trị của các tham số hiệu chuẩn bằng cách cực tiểu hóa sự thiếu chính xác do phương sai rô bốt từ tham số kỹ thuật của chúng và các điều kiện khác. Theo phương án làm ví dụ, rô bốt (ví dụ, rô bốt 105) được chuyển đến các tư thế, và đối với mỗi tư thế, hệ thống nhìn máy chụp hình ảnh (ví dụ, thông qua máy ảnh 110) của mục tiêu hiệu chuẩn (ví dụ, mục tiêu hiệu chuẩn 120) và góc khớp của rô bốt ở tư thế đó. Giá trị của các tham số hiệu chuẩn ban đầu có thể được xác định. Ví dụ, các giá trị tham số hiệu chuẩn rô bốt ban đầu có thể được lấy từ đặc điểm kỹ thuật của rô bốt. Các giá trị tham số hiệu chuẩn tay mắt ban đầu có thể được xác định bằng cách sử dụng ảnh chụp và các giá trị tham số hiệu chuẩn rô bốt ban đầu. Chức năng hiệu chuẩn để xác định giá trị các tham số hiệu chuẩn tay mắt ban đầu có sẵn thương mại, chẳng hạn như trong Cognex Vision Library ® được sản xuất bởi Công ty Cognex. Một hoặc nhiều giá trị tham số hiệu chuẩn ban đầu, bao gồm một hoặc nhiều giá trị tham số hiệu chuẩn rô bốt và một hoặc nhiều giá trị các tham số hiệu chuẩn tay mắt, sau đó có thể được tinh chỉnh để xác định giá trị tham số hiệu chuẩn cuối cùng. Ví dụ, bằng cách sử dụng phương pháp tối ưu hóa phi tuyến để cực tiểu hóa sự khác biệt chung giữa chuyển động rô bốt, mà có thể được xác định bằng các tham số hiệu chuẩn rô bốt và các góc khớp, và chuyển động quan sát bởi hệ thống nhìn máy. Giá trị của các tham số hiệu chuẩn cuối cùng sau đó có thể được sử dụng bởi hệ thống nhìn máy để vận hành rô bốt trong thời gian vận hành. Ví dụ, các giá trị tham số hiệu chuẩn rô bốt cuối cùng có thể được dùng để điều khiển rô bốt chính xác hơn. Giá trị các tham số hiệu chuẩn tay mắt cuối

cùng có thể tiếp tục cải thiện hiệu suất của hệ thống nhìn máy trong thời gian vận hành.

Fig.3 mô tả sơ đồ hiệu chuẩn 300. Theo một số phương án, sơ đồ hiệu chuẩn có thể được sử dụng để di chuyển các cấu hình máy ảnh. Ví dụ, sơ đồ hiệu chuẩn 300 có thể được sử dụng cho hệ thống nhìn máy 100 trên Fig.1. Như được thể hiện trên Fig.3, hình bầu dục thể hiện không gian tọa độ. Fig.3 bao gồm không gian tọa độ CalPlate3D 305, không gian tọa độ RobotBase3D 310, không gian tọa độ Joint1 315, không gian tọa độ Joint2 320, không gian tọa độ Joint3 325, không gian tọa độ Joint4 330, không gian tọa độ Joint5 335, không gian tọa độ Joint6 340, không gian tọa độ Hand3D 345, không gian tọa độ Camera3D 352, và không gian tọa độ Raw2D 355. Mũi tên giữa các hình bầu dục đại diện cho biến đổi giữa các không gian tọa độ. Các giá trị tham số hiệu chuẩn sử dụng cho phép biến đổi có thể được xác định và tinh chỉnh, như sẽ được mô tả đối với các phương pháp hiệu chuẩn bên dưới.

Trong ví dụ được thể hiện, không gian tọa độ CalPlate3D 305 có thể là không gian tọa độ của mục tiêu hiệu chuẩn 120, và có thể được xác định bởi mặt trên cùng của mục tiêu hiệu chuẩn 120. Không gian tọa độ RobotBase3D 310 có thể là không gian tọa độ cơ sở 125 của rô bốt 105. Theo một số phương án, không gian tọa độ RobotBase3D 310 có thể được xác định bởi các nhà sản xuất rô bốt. Không gian tọa độ Joint1 315 có thể là không gian tọa độ khớp 130 của rô bốt 105. Không gian tọa độ Joint2 320 có thể là không gian tọa độ khớp 135 của rô bốt 105. Không gian tọa độ Joint3 325 có thể là không gian tọa độ khớp 140 của rô bốt 105. Không gian tọa độ Joint4 330 có thể là không gian tọa độ khớp 145 của rô bốt 105. Không gian tọa độ Joint5 335 có thể là không gian tọa độ khớp 150 của rô bốt 105. Không gian tọa độ Joint6 340 có thể là không gian tọa độ khớp 155 của rô bốt 105. Không gian tọa độ Hand3D 345 có thể là không gian tọa độ tay 160 của rô bốt 105. Theo một số phương án, không gian tọa độ Hand3D 345 có thể được xác định bởi các nhà sản xuất rô bốt. Theo một số phương án, không gian tọa độ Hand3D 345 có thể được xác định bởi người sử dụng dịch đi từ J6. Không gian tọa độ Camera3D 352 có thể là không gian tọa độ máy ảnh 110. Gốc của không gian tọa độ Camera3D 352 có thể ở trung tâm của trục z chỉ dọc theo trục chính của thấu kính của máy ảnh 110. Các trục x và

y có thể được giống thẳng với các hàng và cột, tương ứng, của cảm biến máy ảnh của máy ảnh 110. Không gian tọa độ Raw2D 355 có thể là hệ tọa độ dựa trên điểm ảnh 2D được xác định bởi các hàng và cột của cảm biến máy ảnh của máy ảnh 110. Trục x có thể chỉ từ trái sang phải dọc theo hàng ảnh, và trục y có thể chỉ xuống dọc theo cột của cảm biến máy ảnh của máy ảnh 110. Cần phải hiểu rằng các không gian tọa độ với tên có chứa “3D” là không gian ba chiều, không gian tọa độ với tên có chứa “2D” là không gian hai chiều.

Các phép biến đổi giữa các không gian tọa độ có thể là phép biến đổi cứng (ví dụ, bao gồm một thành phần dịch và một thành phần quay) và/hoặc phép biến đổi dựa trên các tham số hiệu chuẩn rô bốt 105. Ví dụ, phép biến đổi giữa không gian tọa độ CalPlate3D 305 và không gian tọa độ RobotBase3D 310, giữa không gian tọa độ RobotBase3D 310 và không gian tọa độ Joint1 315, giữa không gian tọa độ Hand3D 345 và không gian tọa độ Camera3D 352, và giữa không gian tọa độ CalPlate3D 305 và không gian tọa độ Camera3D 352, có thể là phép biến đổi cứng 3D. Các phép biến đổi giữa không gian tọa độ Joint1 315 và không gian tọa độ Joint2 320, giữa không gian tọa độ Joint2 320 và không gian tọa độ Joint3 325, giữa không gian tọa độ Joint3 325 và không gian tọa độ Joint4 330, giữa không gian tọa độ Joint4 330 và không gian tọa độ Joint5 335, và giữa không gian tọa độ Joint5 335 và không gian tọa độ Joint6 340 có thể dựa trên giá trị các tham số hiệu chuẩn rô bốt mô tả các khớp và các liên kết rô bốt 105, và các giá trị góc khớp tương ứng. Theo một số phương án, phép biến đổi có thể được xác định bằng cách sử dụng ma trận Denavit-Hartenberg, trong đó các tham số rô bốt là d , θ , a , và α , đã được biết. Phép biến đổi từ không gian tọa độ Joint6 340 sang không gian tọa độ Hand3D 345 có thể là phép biến đổi cứng cùng với phép biến đổi quay biến đổi dựa trên giá trị góc của Joint6 của rô bốt 105. Phép biến đổi từ không gian tọa độ CalPlate3D 305 sang không gian tọa độ Camera3D 352, và phép biến đổi từ không gian tọa độ Camera3D 352 sang không gian tọa độ Raw2D 355 có thể dựa trên hiệu chuẩn máy ảnh thông thường, cũng đã được biết đến. Như được sử dụng trong bản mô tả, các ký hiệu `CoordinateSpace1fromCoordinateSpace2` chỉ ra phép biến đổi từ `CoordinateSpace2` sang `CoordinateSpace1`. Ví dụ, `Joint1FromJoint2` biểu thị

phép biến đổi từ không gian tọa độ Joint2 320 sang không gian tọa độ Joint1 315.

Sáng chế có thể được sử dụng để tinh chỉnh các giá trị của các tham số hiệu chuẩn được sử dụng để tạo các phép biến đổi được mô tả ở trên.

1. Thu nhận dữ liệu hiệu chuẩn

Fig.4 thể hiện đồ 400 của phương pháp hiệu chuẩn hệ thống nhìn máy theo sáng chế. Phương pháp được mô tả có thể được thực hiện bởi hệ thống điều khiển 115. Tại bước 405, hệ thống điều khiển 115 chụp ảnh và góc khớp rô bốt khi rô bốt 105 ở trong một trong số các tư thế. Tại mỗi tư thế, hệ thống điều khiển 115 làm cho máy ảnh 110 chụp ảnh ít nhất một phần mục tiêu hiệu chuẩn 120 có chứa một hoặc nhiều tính năng 122. Hệ thống điều khiển 115 tiếp tục chụp góc của mỗi khớp rô bốt 105 ở tư thế đó. Ví dụ, rô bốt 105 có thể báo cáo các góc của mỗi khớp đến hệ thống điều khiển 115.

2. Xác định giá trị tham số hiệu chuẩn ban đầu

Tại bước 410, hệ thống điều khiển 115 xác định giá trị tham số hiệu chuẩn ban đầu. Giá trị tham số hiệu chuẩn ban đầu có thể là giá trị được sử dụng để xác định các phép biến đổi được thể hiện trên Fig.3 trước sự tinh chỉnh. Như sẽ được mô tả chi tiết hơn dưới đây, các giá trị tham số hiệu chuẩn này có thể được tinh chỉnh theo sáng chế. Ví dụ được thể hiện trên Fig.3 là hệ thống điều khiển 115 có thể thu nhận giá trị tham số hiệu chuẩn rô bốt ban đầu cho rô bốt 105 dựa trên đặc điểm kỹ thuật của rô bốt 105. Ví dụ, nhà sản xuất rô bốt sẽ cung cấp những giá trị này. Sử dụng các giá trị hiệu chuẩn ban đầu và góc khớp cho rô bốt 105 ở một tư thế đặc biệt, hệ thống điều khiển 115 có thể xác định các phép biến đổi sau đây cho rô bốt 105 tại tư thế đó: RobotBase3DFromJoint1, Joint1FromJoint2, Joint2FromJoint3, Joint3FromJoint4, Joint4FromJoint5, Joint5FromJoint6, và Joint6FromHand3D. Ví dụ, Joint1FromJoint2, Joint2FromJoint3, Joint3FromJoint4, Joint4FromJoint5, Joint5FromJoint6 có thể được xác định bằng cách sử dụng ma trận Denavit-Hartenberg dựa trên các giá trị D-H được cung cấp bởi đặc điểm kỹ thuật rô bốt và các giá trị góc khớp của rô bốt 105 ở tư thế đó. RobotBase3DFromJoint1 có thể được xác định dựa trên

các đặc điểm kỹ thuật rô bốt (ví dụ, kích thước của rô bốt 105). Joint6FromHand3D có thể được xác định dựa trên các đặc điểm kỹ thuật rô bốt Hand3D 160 của rô bốt 105 và giá trị góc khớp của Joint6. Joint6FromHand3D có thể cung cấp phép biến đổi cứng tay rô bốt 160 trong J6 340 (ví dụ, hệ tọa độ Joint6). Hệ thống điều khiển 115 có thể tạo ra phép biến đổi phức hợp RobotBase3DFromHand3D cho một tư thế đặc biệt của rô bốt 105 dựa trên các phép biến đổi này. Ví dụ, phương trình dưới đây cung cấp RobotBase3DFromHand3D:

$$\begin{aligned} \text{RobotBase3DFromHand3D} &= \text{RobotBase3DFromJoint1} * \\ &\text{Joint1FromJoint2} * \text{Joint2FromJoint3} * \text{Joint3FromJoint4} * \\ &\text{Joint4FromJoint5} * \text{Joint5FromJoint6} * \text{Joint6FromHand3D} \end{aligned}$$

Hệ thống điều khiển 115 có thể thực hiện hiệu chuẩn tay mắt để xác định các giá trị tham số hiệu chuẩn tay mắt ban đầu. Ví dụ, hệ thống điều khiển có thể sử dụng Cognex Vision Library để xác định giá trị tham số hiệu chuẩn tay mắt ban đầu dựa trên các hình ảnh chụp được và phép biến đổi RobotBase3DFromHand3D cho các tư thế, cùng với Camera3DFromCalPlate3D. Theo kết quả của việc hiệu chuẩn tay mắt, hệ thống điều khiển 115 có thể xác định Camera3DFromHand3D và RobotBase3DFromCalPlate3D. Với việc xác định Camera3DFromHand3D và RobotBase3DFromCalPlate3D, cùng với phép biến đổi xác định trước đó, tọa độ trong bất kỳ không gian tọa độ nào trên Fig.3 có thể được biến đổi thành tọa độ trong không gian tọa độ bất kỳ khác trên Fig.3.

3. Tinh chỉnh tham số hiệu chuẩn

Tại bước 415, hệ thống điều khiển 115 tinh chỉnh các tham số hiệu chuẩn để xác định giá trị chính xác hơn cho các tham số hiệu chuẩn này. Để tinh chỉnh các tham số hiệu chuẩn, hệ thống điều khiển 115 xác định các giá trị của các tham số hiệu chuẩn mà cực tiểu hóa hàm chi phí. Kỹ thuật để cực tiểu hóa hàm chi phí và xác định giá trị tham số hiệu chuẩn cuối cùng có thể bao gồm phương pháp bình phương phi tuyến tối thiểu. Tuy nhiên, các kỹ thuật khác cũng có thể được sử dụng.

Các phương án của sáng chế có thể sử dụng các hàm chi phí khác nhau. Theo một số phương án, hàm chi phí có thể là tổng của các khoảng cách giữa các vị trí quan sát các tính năng (ví dụ, tính năng trên mục tiêu hiệu chuẩn 120) và các vị trí dự kiến của những tính năng này dựa trên các phép biến đổi nêu trên. Nói chung, điều này có thể liên quan đến việc hệ thống nhìn máy quan sát vị trí của một tính năng trong không gian tọa độ thứ nhất (ví dụ, quan sát bằng máy ảnh 110) và áp dụng các phép biến đổi để ánh xạ tính năng đó qua các không gian tọa độ khác đến không gian tọa độ thứ nhất để tính toán vị trí dự kiến của tính năng dựa trên các tham số hiệu chuẩn. Nếu các tham số hiệu chuẩn là hoàn toàn chính xác, vị trí quan sát và vị trí dự kiến sẽ giống nhau. Trong thực tế, thường có một số khác biệt giữa vị trí quan sát và vị trí dự kiến. Theo một số phương án, hàm chi phí đo các sự chênh lệch này cho nhiều tính năng, nhiều tư thế, và nhiều hình ảnh. Ví dụ, hệ thống điều khiển 115 có thể xác định vị trí của các tính năng của mục tiêu hiệu chuẩn quan sát được trong không gian tọa độ Raw2D 355 cho mỗi tư thế rô bốt (ObservedFeatureRaw2D_{ij}). Hệ thống điều khiển 115 cũng có thể xác định vị trí của các tính năng hiệu của mục tiêu chuẩn ánh xạ trong không gian tọa độ Raw2D 355 cho mỗi tư thế rô bốt

$$\text{MappedFeatureRaw2D}_{ij} = \text{Raw2DFromCamera3D} * \text{CalPlate3DFromCamera3DAtPose}_i \text{Estimated}^{-1} * \text{CalibrationTargetFeature}_j$$

trong đó

$$\begin{aligned} &\text{CalPlate3DFromCamera3DAtPose}_i \text{Estimated} = \\ &\text{CalPlate3DFromRobotBase3D} * \text{RobotBase3DFromHand3DAtPose}_i * \\ &\text{Hand3DFromCamera3D} \end{aligned}$$

RobotBase3DFromHand3DAtPose_i là tư thế rô bốt ước tính tại tư thế i bằng cách sử dụng các giá trị góc khớp tại tư thế i và các giá trị của các tham số hiệu chuẩn ban đầu (hoặc tinh chỉnh liên tục giá trị tham số hiệu chuẩn).

Sau đó, hệ thống điều khiển 115 có thể tính toán khoảng cách giữa vị trí tính năng quan sát và vị trí tính năng ánh xạ. Hàm chi phí có thể được định nghĩa như sau:

$$\sum_{\text{For each camera, each pose } i, \text{ and each feature } j} (\text{distance}(\text{ObservedFeatureRaw2D}_{ij}, \text{MappedFeatureRaw2D}_{ij}))^2$$

Theo một số phương án, hàm chi phí đo các sự thay đổi của vị trí của tính năng tầm hiệu chuẩn sau khi ánh xạ bằng cách sử dụng phép biến đổi. Ví dụ, hệ thống điều khiển 115 có thể xác định vị trí của các tính năng trong không gian tọa độ CalPlate3D 305. Hệ thống điều khiển 115 cũng có thể ánh xạ mỗi vị trí tính năng cho các tính năng tại mỗi tư thế rô bốt i của các tư thế thông qua phép biến đổi CalPlate3DFromCalPlate3DAtPose _{i} , ở đây:

$$\begin{aligned} \text{CalPlate3DFromCalPlate3DAtPose}_i &= \text{CalPlate3DFromRobotBase3D} * \\ \text{RobotBase3DFromHand3DAtPose}_i &* \text{Hand3DFromCamera3D} * \\ \text{Camera3DFromCalPlate3DAtPose}_i \end{aligned}$$

Trong đó RobotBase3DFromHand3DAtPose _{i} là tư thế rô bốt ước tính tại tư thế i bằng cách sử dụng các giá trị góc khớp rô bốt tại tư thế i và các giá trị của các tham số hiệu chuẩn ban đầu (hoặc tinh chỉnh liên tục giá trị tham số hiệu chuẩn).

Camera3DFromCalPlate3DAtPose _{i} thu nhận bằng cách sử dụng các tính năng quan sát trong Raw2D và thông tin hiệu chuẩn máy ảnh.

Sau đó, hệ thống điều khiển 115 có thể tính toán khoảng cách giữa vị trí tính năng và vị trí tính năng ánh xạ. Hàm chi phí có thể được định nghĩa như sau:

$$\sum_{\text{For each camera, each pose } i, \text{ and each feature } j} (\text{distance}(\text{CalPlate3DFromCalPlate3DAtPose}_i * \text{featureCalPlate3D}_j, \text{featureCalPlate3D}_j))^2$$

Theo một số phương án, hàm chi phí có thể được định nghĩa không cần ánh xạ các điểm tính năng. Nếu các tham số hiệu chuẩn là hoàn toàn chính xác, thì CalPlate3DFromCalPlate3DAtPose _{i} sẽ là một phép biến đổi định danh. Như vậy, hàm chi phí có thể đo lường sự khác biệt giữa CalPlate3DFromCalPlate3DAtTPose _{i} và phép biến đổi định danh. Theo một số phương án, hàm chi phí có thể được định nghĩa như sau:

$$\sum_{\text{For each camera, each pose } i} (\text{CalPlate3DfromCalPlate3DA}t\text{Pose}_i.\text{translation.length} + w \\ * \text{absolute value}(\text{CalPlate3DfromCalPlate3DA}t\text{Pose}_i.\text{rotationAngle}))^2$$

trong đó:

$\text{CalPlate3DfromCalPlate3DA}t\text{Pose}_i.\text{translation.length}$ là chiều dài của thành phần dịch phép biến đổi $\text{CalPlate3DfromCalPlate3DA}t\text{Pose}_i$;

$\text{CalPlate3DfromCalPlate3DA}t\text{Pose}_i.\text{rotationAngle}$ là lượng xoay của phép biến đổi $\text{CalPlate3DfromCalPlate3DA}t\text{Pose}_i$ (ví dụ, việc xoay có thể được biểu diễn dưới dạng một lượng xoay quanh một trục quay); và

w là trọng lượng (ví dụ, hệ số tỷ lệ) để cân đối các thành phần dịch và xoay.

Theo một số phương án, gốc của không gian tọa độ Hand3D 345 có thể được sử dụng làm cơ sở cho hàm chi phí. Phép biến đổi $\text{Hand3DFromHand3DA}t\text{Pose}_i$ có thể được định nghĩa như sau:

$$\text{Hand3DFromHand3DA}t\text{Pose}_i = \text{Hand3DFromCamera3D} * \\ \text{Camera3DFromCalPlate3DA}t\text{Pose}_i * \text{CalPlate3DFromRobotBase3D} * \\ \text{RobotBase3DFromHand3DA}t\text{Pose}_i$$

trong đó:

$\text{Hand3DFromCamera3D} * \text{Camera3DFromCalPlate3DA}t\text{Pose}_i * \text{CalPlate3DFromRobotBase3D}$ đại diện cho nghịch đảo của $\text{RobotBase3DFromHand3D}$ quan sát bằng máy ảnh tại tư thế i ($\text{Camera3DFromCalPlate3DA}t\text{Pose}_i$ thu nhận bằng cách sử dụng các tính năng quan sát trong Raw2D và thông tin hiệu chuẩn máy ảnh).

$\text{Hand3DFromHand3DA}t\text{Pose}_i$ chỉ ra sự khác biệt giữa tư thế dựa trên tham số hiệu chuẩn rô bốt của rô bốt 105 và các tư thế ước tính dựa trên hình ảnh từ máy ảnh 110. Nếu các tham số hiệu chuẩn là hoàn toàn chính xác, thì $\text{Hand3DFromHand3DA}t\text{Pose}_i$ sẽ là một phép biến đổi định danh. Hàm chi phí có thể được định nghĩa như sau:

$$\sum_{\text{For each camera, each pose } i} (\text{Hand3DFromHand3DAtPose}_i.\text{translation.length} + w \\ * \text{absolute value}(\text{Hand3DFromHand3DAtPose}_i.\text{rotation.angle}))^2$$

Theo một số phương án, hàm chi phí có thể đo lường sự khác biệt giữa các góc khớp báo cáo cho các khớp của rô bốt 105 (ví dụ, được đo bằng rô bốt 105) và các góc khớp ước tính của các khớp tương ứng của rô bốt 105. Hàm chi phí có thể ước tính các góc khớp cho các khớp của rô bốt 105 dựa trên ảnh chụp và các giá trị tham số hiệu chuẩn. Phép biến đổi RobotBase3DFromHand3D_estimated có thể được định nghĩa như sau:

$$\text{RobotBase3DFromHand3D_estimated} = \text{RobotBase3DFromCalPlate3D} * \\ \text{CalPlate3DFromCamera3DAtPose}_i * \text{Camera3DFromHand3D}.$$

Phương trình động học ngược có thể được sử dụng để tính toán các góc khớp tương ứng với RobotBase3DFromHand3D_estimated. Hàm chi phí có thể được định nghĩa như sau:

$$\sum_{\substack{\text{For each camera, each pose } i \\ \text{each joint } j}} (\text{EstimatedJointAngle} - \text{ReportedJointAngle})^2$$

Hoặc

$$\sum_{\substack{\text{For each camera, each pose } i \\ \text{each joint } j}} (\text{EstimatedJointEncoderCount} \\ - \text{ReportedJointEncoderCount})^2$$

Có lợi, hàm chi phí không cần phải bao gồm w cho việc cân bằng các thành phần dịch và xoay.

4. Tăng cường tinh chỉnh

Trong ví dụ được thể hiện cho hệ thống nhìn máy 100, các tham số hiệu chuẩn mà có thể được tinh chỉnh bao gồm 32 tham số hiệu chuẩn rô bốt: 20 tham số D - H cho các khớp của rô bốt 105, 6 tham số hiệu chuẩn rô bốt cho RobotBase3DFromJoint1, và 6 tham số hiệu chuẩn rô bốt cho Joint6FromHand3D. Các tham số hiệu chuẩn cũng bao gồm 6 tham số cho

Camera3DFromHand3D, và 6 tham số cho RobotBase3DFromCalPlate3D nâng tổng số tham số hiệu chuẩn lên 44 tham số.

Ở đây có thể dư thừa về các tham số hiệu chuẩn, dẫn đến không cần thiết phải tinh chỉnh tất cả các tham số hiệu chuẩn. Theo một số phương án, Joint6FromHand3D có thể được kết hợp với Hand3DFromCamera3D để giảm số lượng tham số hiệu chuẩn được tinh chỉnh. Theo một số phương án, RobotBase3DFromJoint1 có thể được kết hợp với CalPlate3DFromRobotBase3D. Việc kết hợp các phép biến đổi có thể làm giảm các tham số hiệu chuẩn cho việc tinh chỉnh đến 32 (ví dụ, 6 từ CalPlate3DFromJoint1, 6 từ Joint6FromCamera3D, và 20 từ Joint1FromJoint2, v. v. , Joint5FromJoint6). Theo một số phương án, tham số D-H θ dịch và d dịch từ Joint1FromJoint2 có thể được kết hợp thành CalPlate3DFromJoint1, giảm số lượng tham số để tinh chỉnh đến 30. Theo một số phương án, chỉ các tham số hiệu chuẩn được chọn được tinh chỉnh. Ví dụ, độ dịch của các góc theta (ví dụ, các góc khớp) có thể được tinh chỉnh. Có lợi là, bằng cách giảm số lượng các tham số hiệu chuẩn cho việc tinh chỉnh, tốc độ và độ chính xác của quy trình tinh chỉnh có thể được cải thiện. Theo một số phương án, việc tinh chỉnh có thể được thực hiện trong nhóm các tham số hiệu chuẩn. Ví dụ, các giá trị tham số hiệu chuẩn cho Camera3DFromHand3D và RobotBase3DFromCalPlate3D thể được cố định trong khi tinh chỉnh 20 tham số hiệu chuẩn rô bốt. Sau đó, 20 tham số hiệu chuẩn rô bốt có thể được cố định và các tham số hiệu chuẩn cho Camera3DFromHand3D và RobotBase3DFromCalPlate3D có thể được tinh chỉnh.

Cần phải hiểu rằng hệ thống nhìn máy 100 là hệ thống nhìn máy làm ví dụ để mô tả sáng chế. Các cấu hình khác cũng được dự tính. Theo một số phương án, các bước được mô tả là được thực hiện bởi hệ thống điều khiển có thể được thực hiện bởi bộ điều khiển chuyển động, bộ xử lý nhìn máy, và/hoặc bộ điều khiển chuyển động phối hợp với bộ xử lý nhìn máy. Ví dụ, bộ điều khiển chuyển động có thể điều khiển rô bốt thông qua các tư thế và làm cho bộ xử lý nhìn máy lấy ảnh của mục tiêu hiệu chuẩn tại mỗi tư thế. Bộ điều khiển chuyển động có thể cung cấp thông tin bộ xử lý nhìn máy về góc khớp rô bốt tại mỗi tư thế. Bộ điều khiển chuyển động có thể làm cho bộ xử lý nhìn máy thực hiện việc hiệu

chuẩn được mô tả và tinh chỉnh. Một ví dụ khác, bộ xử lý nhìn máy có thể làm cho bộ điều khiển chuyển động điều khiển rô bốt qua các tư thế và cung cấp thông tin bộ xử lý nhìn máy về góc khớp rô bốt tại mỗi tư thế. Bộ xử lý nhìn máy có thể lấy ảnh của mục tiêu hiệu chuẩn tại mỗi tư thế. Bộ xử lý nhìn máy có thể thực hiện việc hiệu chuẩn được mô tả và việc tinh chỉnh. Tổng quát hơn, hệ thống điều khiển có thể bao gồm bộ điều khiển chuyển động, bộ xử lý nhìn máy, hoặc bất kỳ sự kết hợp làm việc với nhau nào để thực hiện kỹ thuật của sáng chế.

Theo một số phương án, nhiều hơn một máy ảnh có thể được sử dụng. Trong hệ thống nhìn máy này, hàm chi phí có thể là sự kết hợp của hàm chi phí cho mỗi máy ảnh. Theo một số phương án, máy ảnh 3D ảo có thể được tạo ra. Bằng cách sử dụng máy ảnh 3D ảo, hàm chi phí dựa trên một máy ảnh có thể được sử dụng. Có lợi, bằng cách sử dụng máy ảnh 3D ảo, số lượng tham số hiệu chuẩn để tinh chỉnh có thể nhỏ hơn và mối quan hệ không gian của máy ảnh có thể được giữ không đổi trong khi tinh chỉnh.

Theo một số phương án, nhiều không gian làm việc có thể được sử dụng (ví dụ, rô bốt có thể di chuyển trong phạm vi và tương tác với các đối tượng trong nhiều hơn một không gian làm việc). Trong các thực hiện, nơi máy ảnh di chuyển với rô bốt, thì việc hiệu chuẩn có thể bao gồm việc đặt mục tiêu hiệu chuẩn trong mỗi không gian làm việc và thu thập dữ liệu hiệu chuẩn (ví dụ, hình ảnh và góc khớp cho nhiều tư thế rô bốt) cho mỗi không gian làm việc. Mỗi không gian làm việc bổ sung có thể dẫn đến sáu tham số hiệu chuẩn thêm cho việc tinh chỉnh. Theo một số phương án, hàm chi phí có thể là sự kết hợp của hàm chi phí cho mỗi không gian làm việc. Theo một số phương án, một hoặc nhiều máy ảnh cố định có thể được sử dụng. Nếu một hoặc nhiều máy ảnh là tĩnh, và các mục tiêu hiệu chuẩn được gắn trên rô bốt, thì hàm chi phí được xác định như trên có thể được sử dụng bằng cách trao đổi Camera3D và CalPlate3D trong các phương trình. Theo một số phương án, công nghệ này có thể được sử dụng để tinh chỉnh các tham số hiệu chuẩn cho hệ thống nhìn máy, trong đó chuyển động của rô bốt chỉ di chuyển theo hai chiều. Cần phải hiểu rằng hàm chi phí có thể được thay đổi để sử dụng chỉ thông tin 2D. Trong trường hợp này,

do sự hạn chế của các chuyển động rô bốt, số lượng tham số hiệu chuẩn rô bốt cho việc tinh chỉnh có thể được giảm để tinh chỉnh mạnh mẽ.

B. Hiệu chuẩn cho hệ thống nhìn máy với sàn chuyển động

Cần phải hiểu rằng công nghệ này có thể tinh chỉnh các tham số hiệu chuẩn cho hệ thống nhìn máy bao gồm sàn chuyển động bằng cách sử dụng phương pháp tương tự như được mô tả ở trên. Công nghệ này có thể tinh chỉnh các tham số hiệu chuẩn tay máy và các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động trong một lần tính toán tinh chỉnh.

Fig.5 mô tả sơ đồ hiệu chuẩn 500 theo sáng chế. Theo một số phương án, sơ đồ hiệu chuẩn có thể được sử dụng cho cấu hình máy ảnh cố định. Ví dụ, sơ đồ hiệu chuẩn 500 có thể được sử dụng cho hệ thống nhìn máy 200 trên Fig.2. Trên Fig.5, hình bầu dục đại diện không gian tọa độ. Fig.5 bao gồm không gian tọa độ Home2D 510, không gian tọa độ Stage2D 515, không gian tọa độ CalPlate2D 520, không gian tọa độ Camera2D 525, và không gian tọa độ Raw2D 530. Mũi tên giữa các hình bầu dục đại diện cho phép biến đổi giữa các không gian tọa độ được thể hiện. Các giá trị tham số hiệu chuẩn sử dụng cho các phép biến đổi có thể được xác định và tinh chỉnh, như được mô tả đối với các phương pháp hiệu chuẩn dưới đây.

Trong ví dụ được thể hiện, không gian tọa độ Home2D 510 có thể là không gian tọa độ, trong đó các không gian tọa độ khác và các mối quan hệ của chúng được mô tả. Không gian tọa độ Home2D 510 có thể trực giao và được xác định bởi trục X của sàn chuyển động 205 và tâm quay của sàn chuyển động 205. Ví dụ, gốc của không gian tọa độ Home2D 510 có thể ở tâm quay của nó khi sàn chuyển động 205 ở vị trí ở gốc. Trục x của không gian tọa độ Home2D 510 có thể thẳng hàng với trục x của sàn chuyển động 205. Trục y của không gian tọa độ Home2D 510 có thể là 90 độ từ trục X và theo hướng chung của trục y của sàn chuyển động 205. Không gian tọa độ Stage2D 515 có thể là không gian tọa độ trực giao mà được gắn vào tâm quay của sàn chuyển động 205, và di chuyển cùng với sàn chuyển động 205. Không gian tọa độ CalPlate2D 520 có thể là không gian tọa độ của mục tiêu hiệu chuẩn 220. Không gian này có thể được di chuyển xung quanh trong các tọa độ không gian tọa độ Home2D 510 của sàn

chuyển động 205. Không gian tọa độ CalPlate2D 520 có thể là hệ tọa độ trực giao, mặc dù đơn vị dài của nó có thể có hệ số tỷ lệ không định danh từ không gian tọa độ Home2D 510. Không gian tọa độ CalPlate2D 520 và không gian tọa độ Home2D 510 có thể có chiều thuận khác nhau. Không gian tọa độ Camera2D 525 có thể là không gian tọa độ trực giao vật lý cho máy ảnh 210. Gốc của không gian tọa độ Camera2D 525 có thể ở vị trí trong không gian tọa độ Home2D 510 tương ứng với trung tâm của cửa sổ hình ảnh của máy ảnh 210. Trục x của nó song song với trục x của không gian tọa độ Raw2D 530 tại gốc của không gian tọa độ Camera2D 525. Trục y có thể là 90 độ từ trục x và theo hướng chung của trục y của không gian tọa độ Raw2D 530. Không gian tọa độ Raw2D 530 có thể là hệ tọa độ không gian điểm ảnh của máy ảnh 210.

Phép biến đổi giữa các không gian tọa độ có thể là phép biến đổi cứng (ví dụ, bao gồm một thành phần dịch và một thành phần quay) và/hoặc phép biến đổi cứng cộng phép biến đổi thuận (ví dụ bao gồm phép biến đổi cứng cộng với một thành phần thuận) và/hoặc phép biến đổi dựa trên tham số hiệu chuẩn động học của sản chuyển động 205. Ví dụ, phép biến đổi giữa không gian tọa độ Camera2D 525 và không gian tọa độ Home2D 510 và giữa không gian tọa độ Stage2D 515 và không gian tọa độ CalPlate2D 520 có thể là phép biến đổi 2D cứng. Các phép biến đổi giữa không gian tọa độ CalPlate2D 520 và không gian tọa độ Camera2D 525 có thể là phép biến đổi 2D cứng. Phép biến đổi giữa không gian tọa độ Home2D 510 và không gian tọa độ Stage2D 515 có thể dựa trên, ví dụ, số đếm bộ mã hóa của bộ kích hoạt. Phép biến đổi từ không gian tọa độ Camera2D 525 sang không gian tọa độ Raw2D 530 có thể dựa trên việc hiệu chuẩn máy ảnh thông thường, kỹ thuật này đã được biết.

1. Thu nhận dữ liệu hiệu chuẩn

Trở lại Fig.4, phương pháp được mô tả có thể được thực hiện bởi hệ thống điều khiển 215 của hệ thống nhìn máy 200. Tại bước 405, hệ thống điều khiển chụp ảnh và bộ mã hóa bộ kích hoạt đếm khi sản chuyển động 205 đang ở trong một trong số các tư thế. Tại mỗi tư thế, hệ thống điều khiển 215 làm cho máy ảnh chụp hình ảnh của ít nhất một phần mục tiêu hiệu chuẩn 220 có chứa một

hoặc nhiều tính năng. Hệ thống điều khiển 215 tiếp tục thu nhận số đếm bộ mã hóa cho mỗi bộ kích hoạt của sàn chuyển động 2015 tại mỗi tư thế.

2. Xác định giá trị tham số hiệu chuẩn ban đầu

Tại bước 410, hệ thống điều khiển 215 xác định giá trị tham số hiệu chuẩn ban đầu. Giá trị tham số hiệu chuẩn ban đầu có thể là giá trị được sử dụng để xác định phép biến đổi được mô tả trên Fig.5 trước khi tinh chỉnh. Các giá trị của các tham số hiệu chuẩn này có thể được tinh chỉnh theo sáng chế. Trong ví dụ được thể hiện trên Fig.4, hệ thống điều khiển 215 có thể thu nhận các giá trị tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động ban đầu cho sàn chuyển động 205 dựa trên đặc điểm kỹ thuật của sàn chuyển động 205. Ví dụ, nhà sản xuất sàn chuyển động thường sẽ cung cấp những giá trị này. Sử dụng các giá trị hiệu chuẩn ban đầu này và số đếm bộ mã hóa tại một tư thế đặc biệt, hệ thống điều khiển 215 có thể xác định phép biến đổi $Home2DFromStage2D$.

Hệ thống điều khiển 215 có thể thực hiện hiệu chuẩn tay mắt để xác định các giá trị tham số hiệu chuẩn tay mắt ban đầu. Ví dụ, hệ thống điều khiển 215 có thể sử dụng CognexLibraryVision để xác định giá trị tham số hiệu chuẩn tay mắt ban đầu dựa trên các ảnh chụp và phép biến đổi $Home2DFromStage2D$ cho các tư thế. Kết quả của việc hiệu chuẩn tay mắt, hệ thống điều khiển 215 có thể xác định $Stage2DFromCalPlate2D$, $CalPlate2DFromCamera2D$, và $Camera2DfromHome2D$.

3. Tinh chỉnh tham số hiệu chuẩn

Tại bước 415, hệ thống điều khiển 215 tinh chỉnh các tham số hiệu chuẩn để xác định giá trị chính xác hơn đối với những tham số hiệu chuẩn này. Để tinh chỉnh các tham số hiệu chuẩn, hệ thống điều khiển 215 xác định các tham số hiệu chuẩn mà cực tiểu hóa hàm chi phí. Nói chung, hàm chi phí có thể được dựa trên việc so sánh sàn chuyển động 205 chuyển động (ví dụ như xác định từ số đếm bộ mã hóa thực tế đọc từ sàn chuyển động) và máy ảnh được quan sát hoặc mục tiêu hiệu chuẩn chuyển động (ví dụ, dựa trên những hình ảnh chụp bởi máy ảnh). Các phương án của kỹ thuật này có thể sử dụng nhiều hàm chi phí.

Theo một số phương án, hàm chi phí có thể đo lường sự khác biệt giữa số đếm bộ mã hóa quan sát được (ví dụ như đọc từ sàn chuyển động) và số đếm bộ mã hóa dự kiến/ước tính theo tính toán bằng cách sử dụng các giá trị tham số hiệu chuẩn ban đầu (hoặc giá trị tham số hiệu chuẩn được tinh chỉnh liên tục). Ví dụ, đối với mỗi tư thế sàn chuyển động i , tư thế sàn chuyển động ước tính i' (ví dụ, trong không gian tọa độ Home2D 510) có thể được tính. Tư thế i' có thể được tính như sau:

$$\text{Posei}' = \text{Home2DFrom Camera2D} * \text{Camera2DFromCalPlate2DAtPose}_i * \text{Plate2DFrom Stage2D}$$

Trong đó $\text{Camera2DFromCalPlate2DAtPose}_i$ được tính từ các tính năng của hình ảnh và thông tin hiệu chuẩn máy ảnh.

Số đếm bộ mã hóa ước tính cho tư thế i có thể được tính dựa trên tư thế i' và giá trị tham số hiệu chuẩn ban đầu (hoặc giá trị tham số hiệu chuẩn được tinh chỉnh liên tục).

Hàm chi phí có thể là tổng của các bình phương của các hiệu số số đếm bộ mã hóa cho mỗi bộ kích hoạt, cho mỗi tư thế, và cho tất cả các máy ảnh (trong các hệ thống nhìn máy nhiều máy ảnh). Hàm chi phí có thể được định nghĩa như sau:

$$\sum_{\text{for each camera}} \sum_{\text{for each pose } i} \sum_{\text{for each actuator } j} (\text{Read encoder count} - \text{Estimated encoder count})^2$$

Theo một số phương án, hàm chi phí có thể đo lường sự khác biệt giữa các vị trí quan sát của các tính năng trong Raw2D và vị trí dự kiến (ánh xạ) của các tính năng trong Raw2D. Phép biến đổi $\text{MappedFeatureRaw2D}_{ij}$ có thể được định nghĩa như sau:

$$\begin{aligned} \text{MappedFeatureRaw2D}_{ij} &= \text{Raw2DFromCamera2D} * \\ &\text{CalPlate2DFromCamera2DAtPose}_i \text{Estimated}^{-1} * \text{CalibrationTargetFeature}_j \\ \text{trong đó } \text{CalPlate2DFromCamera2DAtPose}_i \text{Estimated} &= \\ \text{CalPlate2DFromStage2D} * \text{Home2DFromStage2DAtpose}_i^{-1} * \\ \text{Home2DFromCamera2D} \end{aligned}$$

$\text{Home2DFromStage2DAtPose}_i$ có thể được tính dựa trên số đếm bộ mã hóa đọc từ sàn chuyển động 205 tại tư thế i và các giá trị tham số hiệu chuẩn ban đầu.

đầu (hoặc giá trị tham số hiệu chuẩn được tinh chỉnh liên tục). Sau đó, hệ thống điều khiển 115 có thể tính toán khoảng cách giữa các vị trí của tính năng quan sát và các vị trí tính năng ánh xạ. Hàm chi phí có thể được định nghĩa như sau:

$$\sum_{\substack{\text{For each camera, each pose } i, \\ \text{and each feature } j}} (\text{distance}(\text{ObservedFeatureRaw2D}_{ij}, \text{MappedFeatureRaw2D}_{ij}))^2$$

Theo một số phương án, hàm chi phí có thể đo lường sự khác biệt giữa vị trí của các tính năng trong CalPlate2D và vị trí ánh xạ của các tính năng trên mục tiêu hiệu chuẩn 220. Ví dụ, Home2DFromStage2DAtPose_i có thể được tính dựa trên số đếm bộ mã hóa đọc từ sàn chuyển động 205 tại tư thế i và các giá trị tham số hiệu chuẩn ban đầu (hoặc giá trị tham số hiệu chuẩn được tinh chỉnh liên tục). Phép biến đổi CalPlate2DFromCalPlate2DAtPose_i có thể được tính như sau:

$$\text{CalPlate2DFromCalPlate2DAtPose}_i = \text{CalPlate2DFromStage2D} * \text{Home2DFromStage2DAtPose}_i^{-1} * \text{Home2DFromCamera2D} * \text{Camera2DFromPlate2DAtPose}_i$$

Trong đó Home2DFromStage2DAtPose_i có thể được tính dựa trên số đếm bộ mã hóa đọc từ sàn chuyển động 205 tại tư thế i và các giá trị tham số hiệu chuẩn ban đầu (hoặc các giá trị tham số hiệu chuẩn được tinh chỉnh liên tục)

Camera2DFromCalPlate2DAtPose_i thu nhận bằng cách sử dụng các tính năng quan sát trong Raw2D và thông tin hiệu chuẩn máy ảnh.

Phép biến đổi CalPlate2DFromCalPlate2DAtPose_i có thể được sử dụng để ánh xạ các tính năng của mục tiêu hiệu chuẩn tại tư thế i. Sau đó, hàm chi phí có thể được xác định như sau:

$$\sum_{\substack{\text{for each} \\ \text{camera}}} \sum_{\substack{\text{for each} \\ \text{pose } i}} \sum_{\substack{\text{for each} \\ \text{feature } j}} (\text{distance}(\text{CalPlate2DFromCalPlate2DAtPose}_i, * \text{featureCalPlate2D}_j, \text{featureCalPlate2D}_j))^2$$

Đối với sàn chuyển động UVW, các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động có thể bao gồm, đối với mỗi bộ kích hoạt, vị trí con lăn của bộ kích hoạt trung tâm, bán kính của con lăn, hướng của bộ kích hoạt, kích thước bước của

bộ kích hoạt, số đếm bộ mã hóa chủ của bộ kích hoạt, và hướng đĩa của bộ kích hoạt. Theo một số phương án, tập con của các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động của sản chuyển động UVW có thể được tinh chỉnh. Ví dụ, theo một số phương án, bán kính con lăn không được tinh chỉnh. Theo một số phương án, số đếm bộ mã hóa chủ không được tinh chỉnh. Như đã đề cập ở trên, hiệu quả tinh chỉnh có thể được tăng lên bằng cách giảm số lượng tham số hiệu chuẩn được tinh chỉnh. Đối với sản chuyển động XY Theta, các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động có thể bao gồm, cho mỗi bộ kích hoạt X và Y, hướng của bộ kích hoạt và kích thước bước của bộ kích hoạt. Đối với bộ kích hoạt Theta, các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động có thể bao gồm vị trí con lăn của của bộ kích hoạt trung tâm, bán kính của con lăn, và hướng đĩa của bộ kích hoạt. Theo một số phương án, tập con của các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động của sản chuyển động XY Theta có thể được tinh chỉnh. Ví dụ, theo một số phương án, bán kính con lăn không được tinh chỉnh.

Cần phải hiểu rằng hệ thống nhìn máy 200 là hệ thống nhìn máy làm ví dụ để có thể hiểu thấu đáo sáng chế. Các cấu hình khác cũng được dự tính. Theo một số phương án, bước được mô tả được thực hiện bởi hệ thống điều khiển có thể được thực hiện bởi bộ điều khiển chuyển động, bộ xử lý nhìn máy, và/hoặc bộ điều khiển chuyển động phối hợp với bộ xử lý nhìn máy. Ví dụ, bộ điều khiển chuyển động có thể điều khiển sản chuyển động qua các tư thế và làm cho bộ xử lý nhìn máy chụp các hình ảnh mục tiêu hiệu chuẩn tại mỗi tư thế. Bộ điều khiển chuyển động có thể cung cấp thông tin bộ xử lý nhìn máy về sản chuyển động ở mỗi tư thế. Bộ điều khiển chuyển động có thể làm cho bộ xử lý nhìn máy thực hiện việc hiệu chuẩn được mô tả ở trên và việc tinh chỉnh. Một ví dụ khác, bộ xử lý nhìn máy có thể làm cho bộ điều khiển chuyển động điều khiển sản chuyển động qua các tư thế và cung cấp thông tin xử lý nhìn máy về sản chuyển động ở mỗi tư thế. Bộ xử lý nhìn máy có thể chụp các hình ảnh mục tiêu hiệu chuẩn tại mỗi tư thế. Bộ xử lý nhìn máy có thể thực hiện việc hiệu chuẩn như được mô tả và việc tinh chỉnh. Tổng quát hơn, hệ thống điều khiển có thể bao gồm bộ điều khiển chuyển động, bộ xử lý nhìn máy, hoặc bất kỳ sự kết hợp hoạt động nào của chúng để thực hiện các kỹ thuật theo sáng chế.

Theo một số phương án, một hoặc nhiều máy ảnh cố định có thể được sử dụng như được mô tả ở trên. Nếu một hoặc nhiều máy ảnh là máy ảnh di chuyển, tức là máy ảnh được gắn cứng với sàn chuyển động, và mục tiêu hiệu chuẩn cố định, thì hàm chi phí được xác định ở trên có thể được sử dụng bằng cách trao đổi Camera2D và CalPlate2D trong các phương trình.

Các kỹ thuật nêu trên có thể được thực hiện bằng mạch điện tử kỹ thuật số và/hoặc mạch tương tự, hoặc bằng phần cứng máy tính, phần mềm, phần mềm, hoặc các kết hợp của chúng. Cài đặt có thể là sản phẩm chương trình máy tính, ví dụ, chương trình máy tính hữu hình được thể hiện trong thiết bị lưu trữ máy có thể đọc, để thực hiện bằng cách, hoặc để điều khiển hoạt động của thiết bị xử lý dữ liệu, ví dụ, bộ xử lý có thể lập trình, máy tính, và/hoặc nhiều máy tính. Chương trình máy tính có thể được viết bằng ngôn ngữ lập trình máy tính bất kỳ, bao gồm cả mã nguồn, mã biên dịch, mã giải thích và/hoặc mã máy, và chương trình máy tính có thể được triển khai dưới mọi hình thức, bao gồm chương trình độc lập hoặc như một chương trình con, phần tử, hoặc các đơn vị khác phù hợp để sử dụng trong môi trường máy tính. Chương trình máy tính có thể được triển khai để được thực thi trên một máy tính hoặc trên nhiều máy tính tại một hoặc nhiều trang web.

Các bước phương pháp có thể được thực hiện bởi một hoặc nhiều bộ xử lý thực hiện chương trình máy tính để thực hiện các chức năng của công nghệ trên đây bằng cách hoạt động trên dữ liệu đầu vào và/hoặc tạo ra dữ liệu đầu ra. Các bước phương pháp cũng có thể được thực hiện bởi, thiết bị có thể được cài đặt như, mạch lô gic chuyên dụng, ví dụ như, FPGA (Field Programmable Gate Array- mảng cổng lập trình được), FPAA (field-programmable analog array- mảng thiết bị tương tự lập trình trường), CPLD (complex programmable logic device - thiết bị lô gic lập trình phức hợp được), PSoC (Programmable System-on-Chip - hệ thống lập trình được trên chip), ASIP (application-specific instruction-set processor - bộ xử lý tập lệnh chuyên dụng), hoặc ASIC (application-specific integrated circuit - mạch tích hợp chuyên dụng), hoặc tương tự. Thủ tục con có thể tham chiếu đến các phần của chương trình lưu trữ trong máy tính và/hoặc bộ xử lý, và/hoặc các mạch đặc biệt mà thực hiện một hoặc nhiều chức năng.

Bộ xử lý phù hợp để thực hiện chương trình máy tính bao gồm, ví dụ, cả bộ xử lý đa dụng lẫn chuyên dụng, và một hoặc nhiều bộ xử lý bất kỳ của loại máy tính kỹ thuật số hoặc analog bất kỳ. Nói chung, bộ xử lý nhận lệnh và dữ liệu từ bộ nhớ chỉ đọc hoặc bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên hoặc cả hai. Các bộ phận cần thiết của máy tính là bộ xử lý để thực hiện các lệnh và một hoặc nhiều thiết bị nhớ để lưu trữ lệnh và/hoặc dữ liệu. Thiết bị nhớ, chẳng hạn như, bộ nhớ khay (cache), có thể được sử dụng để lưu trữ dữ liệu tạm thời. Thiết bị nhớ cũng có thể được sử dụng để lưu trữ dữ liệu lâu dài. Nói chung, máy tính cũng bao gồm, hoặc được ghép nối hoạt động để nhận dữ liệu từ hoặc chuyển dữ liệu vào, hoặc cả hai, một hoặc nhiều thiết bị lưu trữ khối để lưu trữ dữ liệu, ví dụ, đĩa quang từ, hoặc đĩa quang. Máy tính cũng có thể được ghép nối hoạt động với mạng truyền thông để nhận lệnh và/hoặc dữ liệu từ mạng và/hoặc chuyển lệnh và/hoặc dữ liệu lên mạng. Phương tiện lưu trữ máy tính có thể đọc được phù hợp để lưu giữ lệnh chương trình máy tính và dữ liệu bao gồm tất cả các dạng bộ nhớ ổn định và không ổn định, kể cả các thiết bị nhớ bán dẫn ví dụ, ví dụ, DRAM, SRAM, EPROM, EEPROM, và bộ nhớ flash; đĩa từ, ví dụ, ổ đĩa cứng nội bộ hoặc ổ đĩa di động; đĩa quang từ; và đĩa quang học, ví dụ như, CD, DVD, HD-DVD, và đĩa Blu-ray. Bộ xử lý và bộ nhớ có thể được bổ sung bởi và/hoặc được kết hợp trong mạch lô gic chuyên dụng.

Các kỹ thuật mô tả ở trên có thể được thực hiện trong hệ thống tính toán phân tán bao gồm thành phần đầu sau. Thành phần đầu sau này có thể là, ví dụ, máy chủ dữ liệu, thành phần phân sụn, và/hoặc máy chủ ứng dụng. Các kỹ thuật được mô tả ở trên có thể được thực hiện trong hệ thống tính toán phân tán bao gồm thành phần đầu trước. Thành phần đầu trước này có thể là, ví dụ, máy tính khách hàng có giao diện người dùng đồ họa, trình duyệt web thông qua đó người dùng có thể tương tác với ví dụ, phần cài đặt và/hoặc giao diện người dùng đồ họa khác cho thiết bị truyền. Các kỹ thuật được mô tả ở trên có thể được thực hiện trong hệ thống tính toán phân tán bao gồm bất kỳ sự kết hợp nào của, ví dụ, đầu sau, phân sụn, hoặc thành phần đầu trước.

Các thành phần của hệ thống máy tính có thể được nối với nhau bằng phương tiện truyền dẫn, có thể bao gồm hình thức hay phương tiện truyền thông dữ liệu kỹ thuật số hoặc analog bất kỳ (ví dụ, mạng truyền thông). Phương tiện

truyền có thể bao gồm một hoặc nhiều mạng dựa trên gói và/hoặc một hoặc nhiều mạng dựa trên mạch với cấu hình bất kỳ. Mạng dựa trên gói có thể bao gồm, ví dụ, Internet, giao thức internet (IP) (ví dụ, mạng cục bộ (LAN), mạng diện rộng (WAN), mạng diện tích khuôn viên (CAN), mạng khu vực đô thị (MAN), mạng nội địa (HAN)), mạng riêng IP, trao đổi chi nhánh riêng IP (IPBX), mạng không dây (ví dụ, mạng truy cập vô tuyến (RAN), Bluetooth, Wi-Fi, WiMAX, mạng dịch vụ vô tuyến gói chung (GPRS), HIPERLAN), và/hoặc mạng dựa trên gói khác. Mạng dựa trên mạch có thể bao gồm, ví dụ, mạng điện thoại chuyển mạch công cộng (PSTN), mạng chi nhánh riêng trao đổi kế thừa (PBX), mạng không dây (ví dụ, RAN, mạng CDMA (Code-Division Multiple Access- đa truy cập phân chia mã), mạng TDMA (time division multiple access- đa truy cập phân chia thời gian), mạng hệ thống toàn cầu cho truyền thông di động (GSM), và/hoặc các mạng dựa trên mạch theo từng vùng.

Việc chuyển thông tin qua phương tiện truyền dẫn có thể dựa trên một hoặc nhiều giao thức truyền thông. Giao thức truyền thông có thể bao gồm, ví dụ, giao thức Ethernet, Internet Protocol (IP), giao thức ngang hàng (Peer-to-Peer - P2P), giao thức truyền siêu văn bản (Hypertext Transfer Protocol -HTTP), giao thức khởi tạo phiên (Session Initiation Protocol -SIP), giao thức GSM (Global System for Mobile Communications – hệ thống toàn cầu cho truyền thông di động), giao thức UMTS (Universal Mobile Telecommunications System - hệ thống viễn thông di động toàn cầu), giao thức 3GPP (Long Term Evolution- LTE, giao thức tiến hóa lâu dài) và/hoặc các giao thức truyền thông khác.

Thuật ngữ bao gồm, và/hoặc các hình thức khác của nó bao gồm những phần được liệt kê và có thể bao gồm các phần bổ sung mà không được liệt kê. Và/hoặc có kết thúc mở và bao gồm một hoặc nhiều trong những phần được liệt kê và sự kết hợp của các bộ phận được liệt kê.

Cần phải hiểu rằng, mặc dù phần mô tả trên đây đã mô tả chi tiết các phương án được ưu tiên của sáng chế, rất nhiều thay đổi và biến thể có thể được thực hiện trên các phương án này và tất cả các thay đổi và biến thể đó đều thuộc phạm vi của sáng chế.

Các công nghệ của sáng chế được mô tả cho các phương án cụ thể. Các phương án được mô tả ở đây chỉ là các ví dụ và không được thể hiện để hạn chế lựa chọn thay thế theo bất kỳ cách nào. Các bước của công nghệ có thể được thực hiện theo một thứ tự khác và vẫn đạt được kết quả mong muốn. Các phương án khác vẫn thuộc phạm vi của sáng chế.

Yêu cầu bảo hộ

1. Hệ thống nhìn máy bao gồm:

- rô bốt;
- máy ảnh; và
- hệ thống điều khiển truyền thông với rô bốt và máy ảnh, hệ thống điều khiển được cấu hình để:

di chuyển rô bốt đến nhiều tư thế, và với mỗi tư thế trong số các tư thế:

chụp, bằng máy ảnh, ảnh của một hoặc nhiều tính năng trên mục tiêu hiệu chuẩn; và

chụp các góc khớp rô bốt;

thu nhận các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt;

xác định các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt dựa trên các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt, và hình ảnh và các góc khớp rô bốt chụp được cho mỗi trong số các tư thế;

xác định các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt và các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt bằng cách tinh chỉnh một hoặc nhiều tham số hiệu chuẩn tay mắt và một hoặc nhiều tham số hiệu chuẩn rô bốt để cực tiểu hóa hàm chi phí.

2. Hệ thống theo điểm 1, trong đó hệ thống điều khiển còn được cấu hình để:

sử dụng các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt và các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt cho ứng dụng rô bốt được dẫn hướng nhìn.

3. Hệ thống nhìn máy theo điểm 1, trong đó hệ thống điều khiển còn được cấu hình để:

di chuyển rô bốt sử dụng các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt.

4. Hệ thống theo điểm 1, trong đó hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa vị trí được quan sát của một tính năng trong ảnh đã chụp cho tư thế đó và vị trí dự kiến của tính năng này, vị trí dự kiến được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt, các giá trị

thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, và các góc khớp rô bốt chụp được cho các tư thế.

5. Hệ thống theo điểm 1, trong đó hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa phép biến đổi phức hợp và phép biến đổi định danh, phép biến đổi phức hợp là một thành phần của phép biến đổi thứ nhất từ không gian tọa độ thứ nhất sang không gian tọa độ thứ hai và phép biến đổi thứ hai từ không gian tọa độ thứ hai sang không gian tọa độ thứ nhất, phép biến đổi thứ nhất và phép biến đổi thứ hai xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, các tính năng quan sát được của mục tiêu hiệu chuẩn cho tư thế, và các góc khớp rô bốt chụp được cho các tư thế.

6. Hệ thống theo điểm 1, trong đó hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa góc khớp rô bốt của các góc khớp rô bốt thu được cho các tư thế và góc khớp rô bốt ước tính cho tư thế đó, các góc khớp rô bốt ước tính được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, và các tính năng quan sát được của mục tiêu hiệu chuẩn cho tư thế.

7. Hệ thống theo điểm 1, trong đó hệ thống điều khiển còn được cấu hình để cực tiểu hóa hàm chi phí sử dụng phương pháp bình phương phi tuyến tối thiểu.

8. Hệ thống theo điểm 1, trong đó hệ thống điều khiển được cấu hình để tinh chỉnh ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn tay mắt và ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn rô bốt.

9. Hệ thống theo điểm 1, trong đó các tham số hiệu chuẩn rô bốt bao gồm tham số Denavit-Hartenberg cho rô bốt.

10. Phương pháp hiệu chuẩn được thực hiện bởi hệ thống nhìn máy, phương pháp này bao gồm các bước:

- di chuyển, bởi hệ thống điều khiển, rô bốt đến nhiều tư thế, và với mỗi tư thế trong số các tư thế:

- chụp, bởi máy ảnh, hình ảnh của một hoặc nhiều tính năng trên mục tiêu hiệu chuẩn; và

- chụp, bởi hệ thống điều khiển, các góc khớp rô bốt;

- thu thập, bởi hệ thống điều khiển, các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt;
- xác định, bởi hệ thống điều khiển, các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt dựa trên các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt, và hình ảnh và các góc khớp rô bốt chụp được cho mỗi trong số các tư thế;
- xác định, bởi hệ thống điều khiển, các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt và các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt bằng cách tinh chỉnh một hoặc nhiều tham số hiệu chuẩn tay mắt và một hoặc nhiều tham số hiệu chuẩn rô bốt để cực tiểu hóa hàm chi phí.

11. Phương pháp theo điểm 10, trong đó hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa vị trí quan sát của tính năng trong hình ảnh chụp cho tư thế này và vị trí dự kiến của tính năng này, vị trí dự kiến được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, và các góc khớp rô bốt chụp được cho tư thế.

12. Phương pháp theo điểm 10, trong đó hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa phép biến đổi phức hợp và phép biến đổi định danh, phép biến đổi phức hợp là một thành phần của phép biến đổi thứ nhất từ không gian tọa độ thứ nhất sang không gian tọa độ thứ hai và phép biến đổi thứ hai từ không gian tọa độ thứ hai sang không gian tọa độ thứ nhất, phép biến đổi thứ nhất và phép biến đổi thứ hai xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, các tính năng quan sát được của mục tiêu hiệu chuẩn cho tư thế, và các góc khớp rô bốt chụp được cho các tư thế.

13. Phương pháp theo điểm 10, trong đó hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa góc khớp rô bốt của các góc khớp rô bốt chụp được cho tư thế này và góc khớp rô bốt ước tính cho tư thế đó, góc khớp ước tính được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn rô bốt, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, và các tính năng quan sát được của mục tiêu hiệu chuẩn cho tư thế.

14. Phương pháp theo điểm 10, trong đó phương pháp còn bao gồm bước cực tiểu hóa hàm chi phí sử dụng phương pháp bình phương phi tuyến tối thiểu.

15. Phương pháp theo điểm 10, trong đó phương pháp còn bao gồm bước tinh chỉnh ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn tay mất và ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn rô bốt.

16. Phương pháp theo điểm 10, trong đó các tham số hiệu chuẩn rô bốt bao gồm các tham số Denavit-Hartenberg cho rô bốt.

17. Hệ thống nhìn máy bao gồm:

- sàn chuyển động;
- máy ảnh; và
- hệ thống điều khiển truyền thông với sàn chuyển động và máy ảnh, hệ thống điều khiển được cấu hình để:

di chuyển sàn chuyển động đến nhiều tư thế, và với mỗi tư thế trong số các tư thế:

chụp, bằng máy ảnh, hình ảnh của một hoặc nhiều tính năng trên mục tiêu hiệu chuẩn; và

chụp các số đếm bộ mã hóa cho các bộ kích hoạt của sàn chuyển động;

thu nhận các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động; xác định các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn tay mất dựa trên các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động, và hình ảnh và các số đếm bộ mã hóa chụp được cho mỗi trong số các tư thế;

xác định các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn tay mất và các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động bằng cách tinh chỉnh một hoặc nhiều tham số hiệu chuẩn tay mất và một hoặc nhiều tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động để cực tiểu hóa hàm chi phí.

18. Hệ thống theo điểm 17, trong đó hệ thống điều khiển còn được cấu hình:

để sử dụng các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn tay mất và các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động cho ứng dụng sàn chuyển động được dẫn hướng nhìn.

19. Hệ thống theo điểm 17, trong đó hệ thống điều khiển còn được cấu hình để:

di chuyển sản chuyển động bằng cách sử dụng các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động.

20. Hệ thống theo điểm 17, trong đó hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa vị trí quan sát của một tính năng trong hình ảnh chụp được cho tư thế và vị trí dự kiến của tính năng này, vị trí dự kiến được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, và các số đếm bộ mã hóa chụp được cho tư thế.

21. Hệ thống theo điểm 17, trong đó hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa số đếm bộ mã hóa trong số các số đếm bộ mã hóa chụp được cho tư thế và số đếm bộ mã hóa ước tính cho tư thế, số đếm bộ mã hóa ước tính được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mắt, và các tính năng quan sát được của mục tiêu hiệu chuẩn cho tư thế.

22. Hệ thống theo điểm 17, trong đó hệ thống điều khiển còn được cấu hình để cực tiểu hóa hàm chi phí sử dụng phương pháp bình phương phi tuyến tối thiểu.

23. Hệ thống theo điểm 17, trong đó hệ thống điều khiển được cấu hình để tính chỉnh ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn tay mắt và ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động.

24. Hệ thống theo điểm 17, trong đó các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động bao gồm một hoặc nhiều vị trí con lăn trung tâm, bán kính con lăn, hướng, kích thước bước, số đếm bộ mã hóa chủ, và hướng đĩa cho bộ kích hoạt.

25. Phương pháp hiệu chuẩn được thực hiện bởi hệ thống nhìn máy, phương pháp này bao gồm các bước:

- di chuyển, bởi hệ thống điều khiển, sản chuyển động đến nhiều tư thế, và với mỗi tư thế trong số các tư thế:

chụp, bởi máy ảnh, hình ảnh của một hoặc nhiều tính năng trên mục tiêu hiệu chuẩn; và

chụp, bởi hệ thống điều khiển, các số đếm bộ mã hóa cho các bộ kích hoạt của sản chuyển động;

thu thập, bởi hệ thống điều khiển, các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn sản chuyển động;

xác định, bởi hệ thống điều khiển, các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn tay mất dựa trên các giá trị ban đầu cho các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động, và hình ảnh và các số đếm bộ mã hóa chụp được cho mỗi trong số các tư thế;

xác định, bởi hệ thống điều khiển, các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn tay mất và các giá trị cuối cùng cho các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động bằng cách tinh chỉnh một hoặc nhiều tham số hiệu chuẩn tay mất và một hoặc nhiều tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động để cực tiểu hóa hàm chi phí.

26. Phương pháp theo điểm 25, trong đó hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa vị trí quan sát của một tính năng trong hình ảnh chụp được cho tư thế và vị trí dự kiến của tính năng này, vị trí dự kiến được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mất, và các số đếm bộ mã hóa chụp được cho tư thế đó.

27. Phương pháp theo điểm 25, trong đó hàm chi phí đo, đối với mỗi tư thế trong số các tư thế, sự khác biệt giữa số đếm bộ mã hóa trong số các số đếm bộ mã hóa chụp được cho tư thế và số đếm bộ mã hóa ước tính cho tư thế, số đếm bộ mã hóa ước tính được xác định dựa trên các giá trị thứ nhất cho các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động, các giá trị thứ hai cho các tham số hiệu chuẩn tay mất, và tính năng quan sát của mục tiêu hiệu chuẩn cho tư thế đó.

28. Phương pháp theo điểm 25, trong đó phương pháp còn bao gồm bước cực tiểu hóa hàm chi phí sử dụng phương pháp bình phương phi tuyến tối thiểu.

29. Phương pháp theo điểm 25, trong đó phương pháp còn bao gồm bước tinh chỉnh ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn tay mất và ít hơn tất cả các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động.

30. Phương pháp theo điểm 25, trong đó các tham số hiệu chuẩn sàn chuyển động bao gồm một hoặc nhiều vị trí con lăn trung tâm, bán kính con lăn, hướng, kích thước bước, số đếm bộ mã hóa chủ, và hướng đĩa cho bộ kích hoạt.

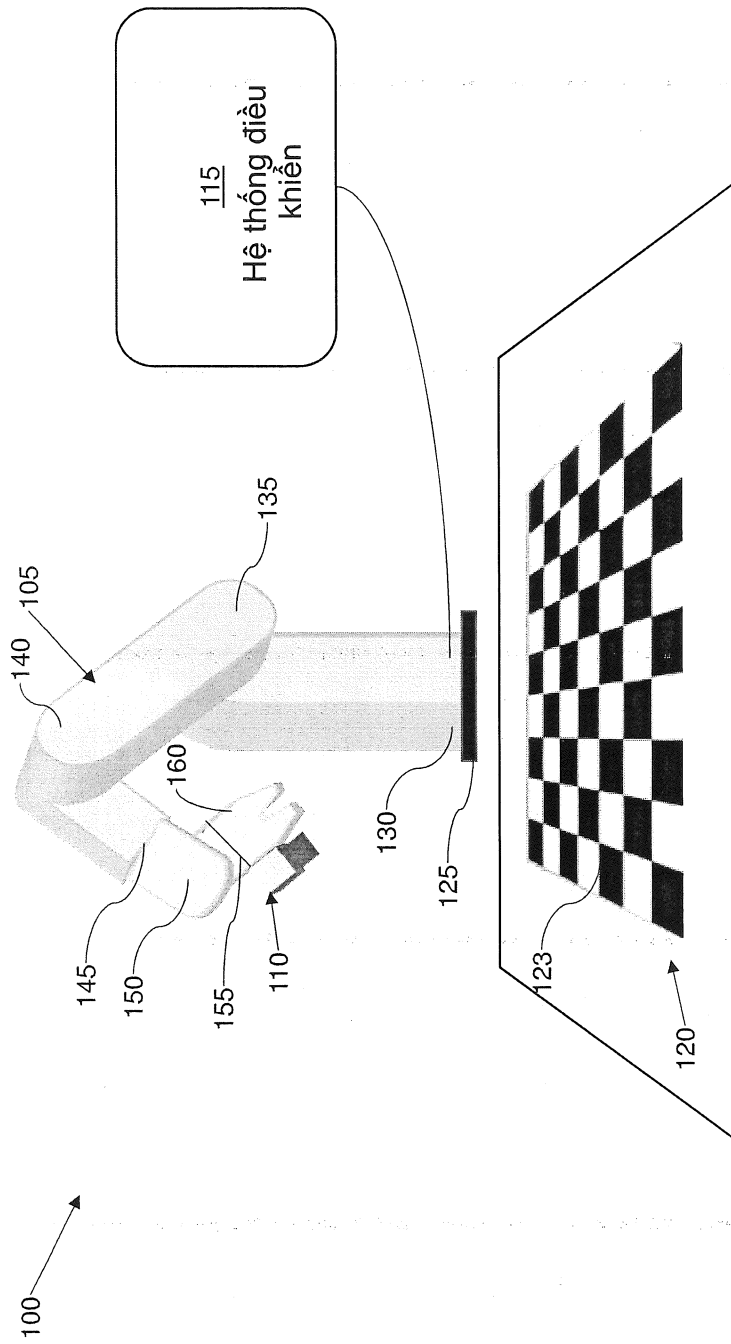


FIG. 1

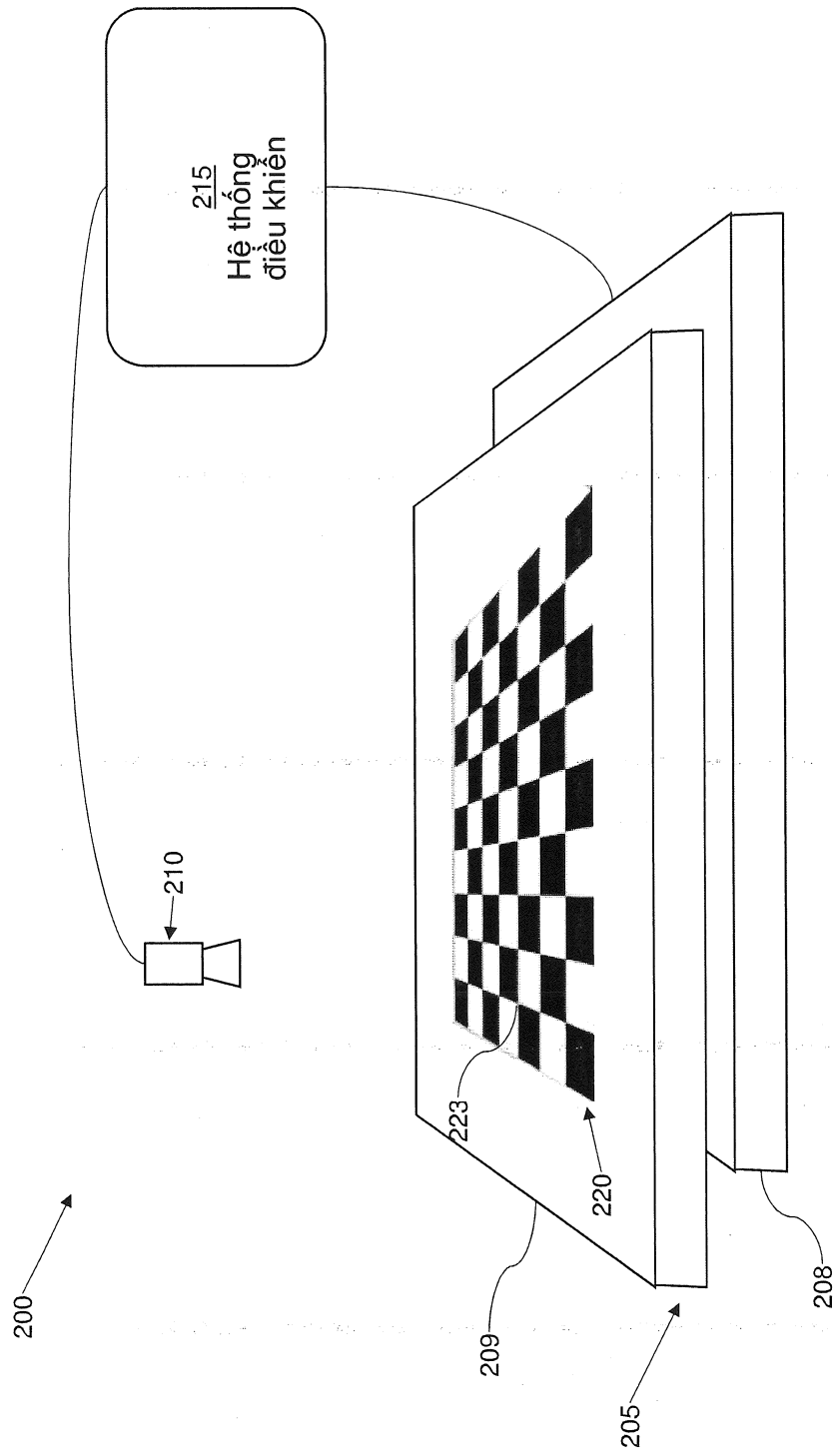


FIG. 2

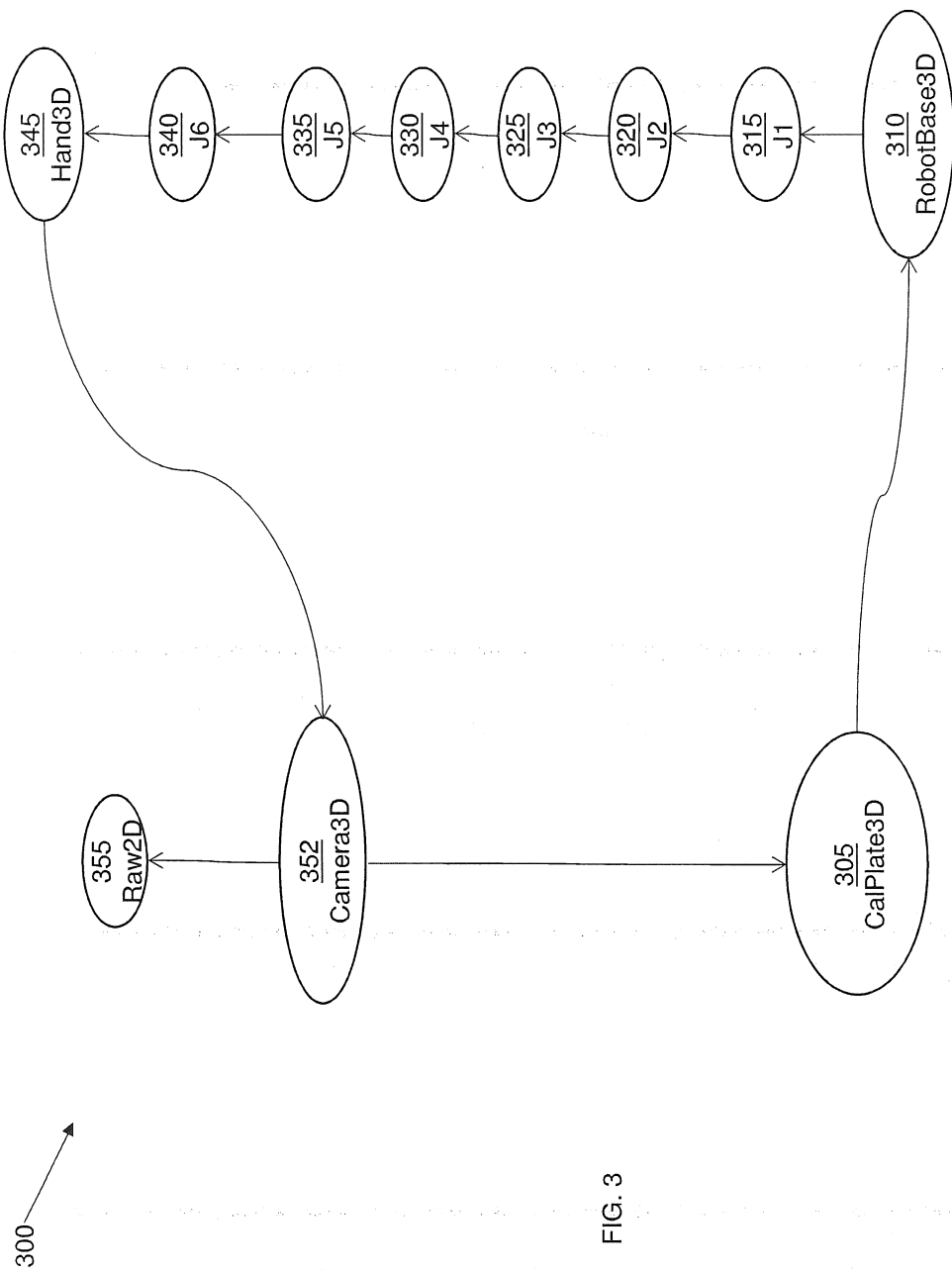


FIG. 3

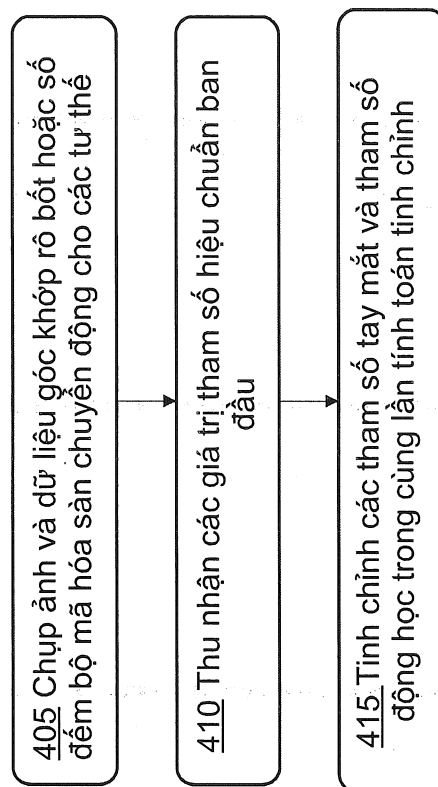


FIG. 4

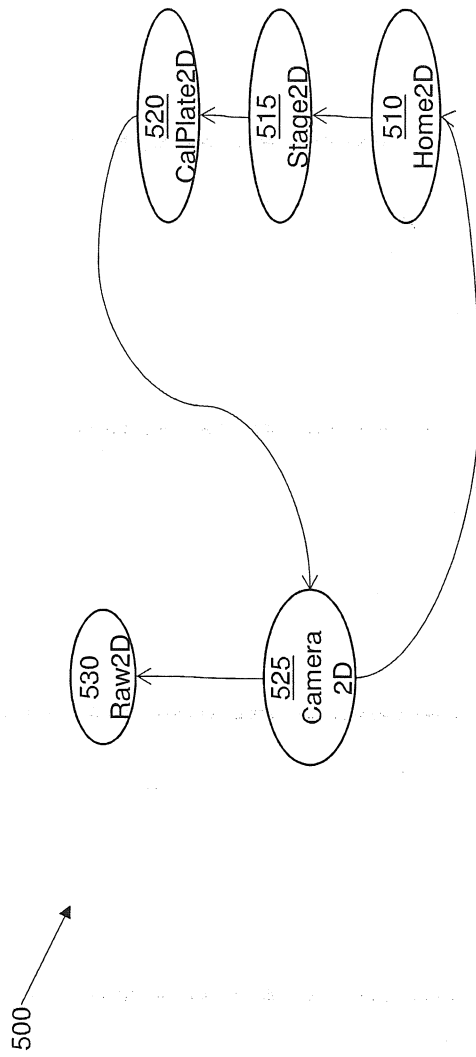


FIG. 5