

TESINA DI SISTEMI E AUTOMAZIONE

LA VISIONE ARTIFICIALE NELLA ROBOTICA



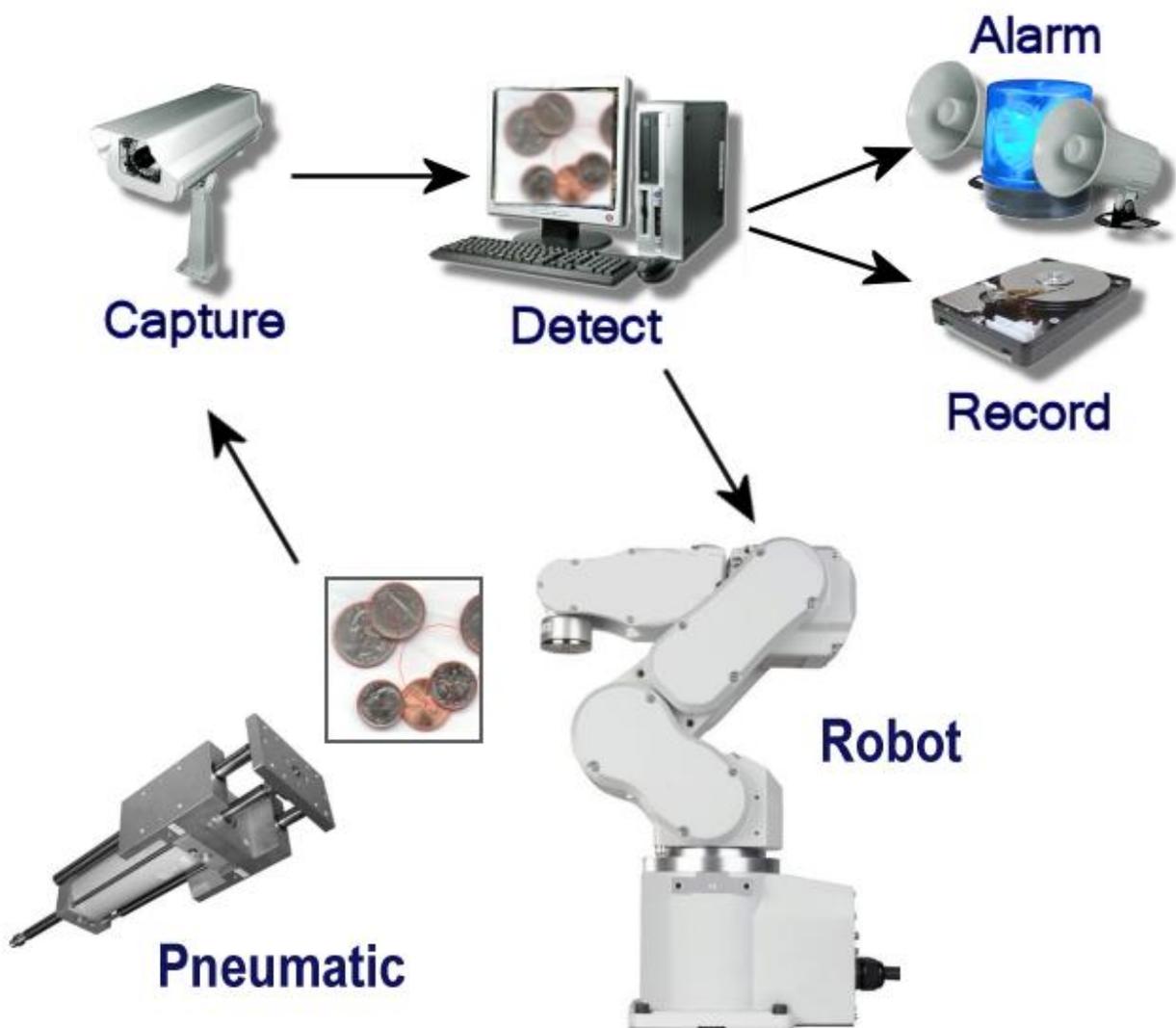
[2012-2013]
Studenti

La visione artificiale nella robotica industriale moderna

Il progetto ha lo scopo di realizzare un sistema di visione artificiale applicato ad un robot antropomorfo per la rilevazione e lo smistamento di pezzi cilindrici posizionati su una superficie di lavoro piana.

Verranno coinvolte le seguenti tematiche:

- Robotica (programmazione del robot antropomorfo presente in laboratorio)
- Programmazione ad oggetti (sistema di controllo con interfaccia utente grafica)
- Visione artificiale (acquisizione video con telecamera e riconoscimento di forma e di posizione)



Storia

La comparsa dei primi robot industriali avviene intorno agli anni settanta. Si tratta di strutture di acciaio con motori idraulici lenti ed imprecisi, in questo periodo il mercato è dominato dagli statunitensi.

I gradi di libertà e le capacità di carico di questi primi robot sono limitate, le prime applicazioni industriali sono nel campo automobilistico, infatti i robot vengono dotati di pinze di saldatura per saldare ed assemblare le scocche delle automobili.

Il primo esempio di impiego massiccio in Italia è in Fiat, dove vengono usati diversi robot per la saldatura sulle vetture con il Robogate, un'invenzione italiana adottata, in seguito, da tutte le industrie automobilistiche.

In genere i robot in questi macchinari eseguono il lavoro di imbastitura della scocca, poi la scocca procede uscendo dal sistema e viene saldata da altri robot che effettuano il completamento della saldatura.

Un'altra applicazione sui veicoli è relativa alle operazioni di verniciatura che, almeno per vari particolari avviene grazie all'impiego di braccia automatizzate.

I robot, negli ultimi anni, si sono evoluti e sono diventati antropomorfi, aumentando sempre di più i gradi di libertà, la precisione, la velocità e la capacità di carico. Adesso i robot svolgono in campo industriale lavorazioni accurate come forature, smerigliatura, fresature, verniciature, smaltature e tagli con il laser e sono dotati di sistemi di visione molto precisi.

Attualmente i robot antropomorfi, nel campo automobilistico, sono impiegati per la saldatura con sistemi laser e laser estetici con una o più sorgenti, questa tecnologia consente di ridurre tempi e spazi e aumentare la qualità delle carrozzerie.

I robot industriali vengono usati massicciamente anche nell'industria per la pellettizzazione e lo stoccaggio, specialmente in aree di lavoro difficili, salvaguardando così la salute degli operai.

Tipi di robot

La norma ISO TR/8373-2.3 definisce il robot industriale come: "Un manipolatore con più gradi di libertà, governato automaticamente, riprogrammabile, multiscopo, che può essere fisso sul posto o mobile per utilizzo in applicazioni di automazioni industriali".

Le configurazioni più comunemente utilizzate in contesto industriale sono:

Robot seriali:

- Robot SCARA
- Robot ANTROPOMORFI
- Robot cartesiani (robot a portale o robot xyz)

Robot paralleli:

- Robot Delta
- Robot doppio SCARA

Nel contesto della robotica generale, la maggior parte dei robot rientra nella categoria dei bracci robotizzati e possono essere classificati in tre livelli:

Robot di primo livello: robot programmati per svolgere fedelmente operazioni ripetitive senza variazioni e con alto grado di precisione; queste azioni sono determinate dal software che specifica la direzione, l'accelerazione, la velocità e la distanza di una serie di movimenti coordinati.

Robot di secondo livello: robot molto più flessibili, in grado di adattarsi autonomamente alle variazioni delle condizioni operative; per esempio robot **dotati di sistemi di visione artificiale**, in grado di identificare l'oggetto da manipolare e compiere semplici variazioni di traiettoria e/o di logica di gestione (sempre nell'ambito del programma pre-impostato).

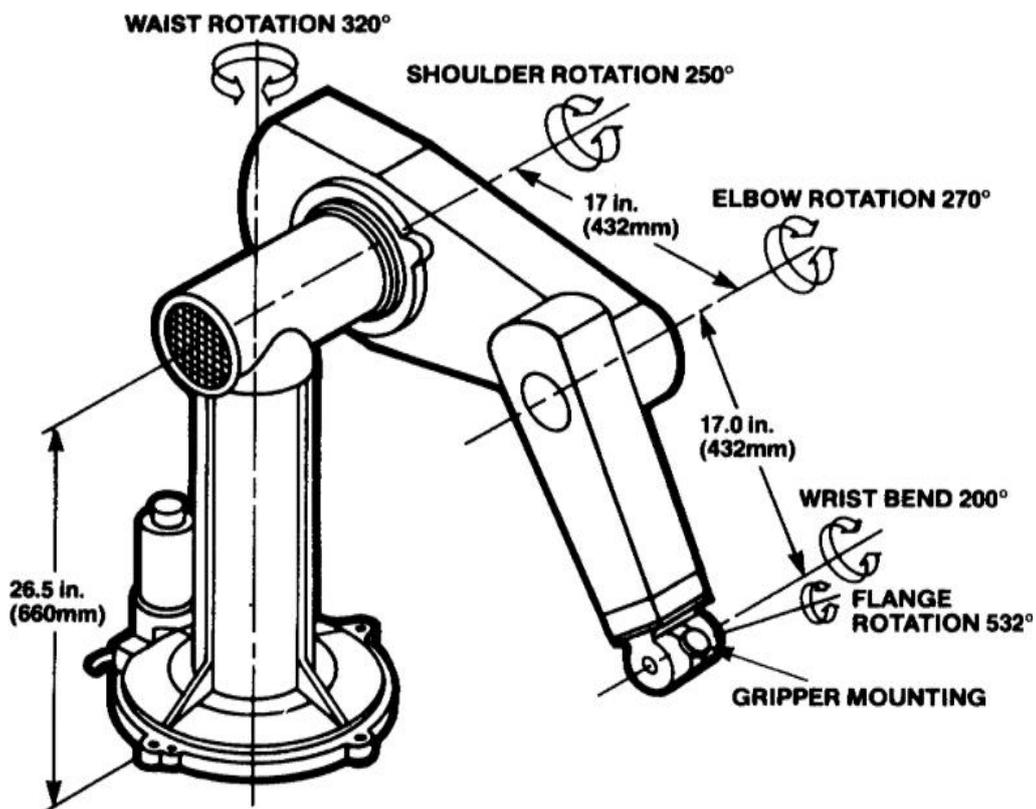
Robot di terzo livello: robot in grado di prendere decisioni in modo autonomo (non previste dal costruttore) avvalendosi di reti neurali. Attualmente tali genere di robot non sono utilizzati a livello industriale.

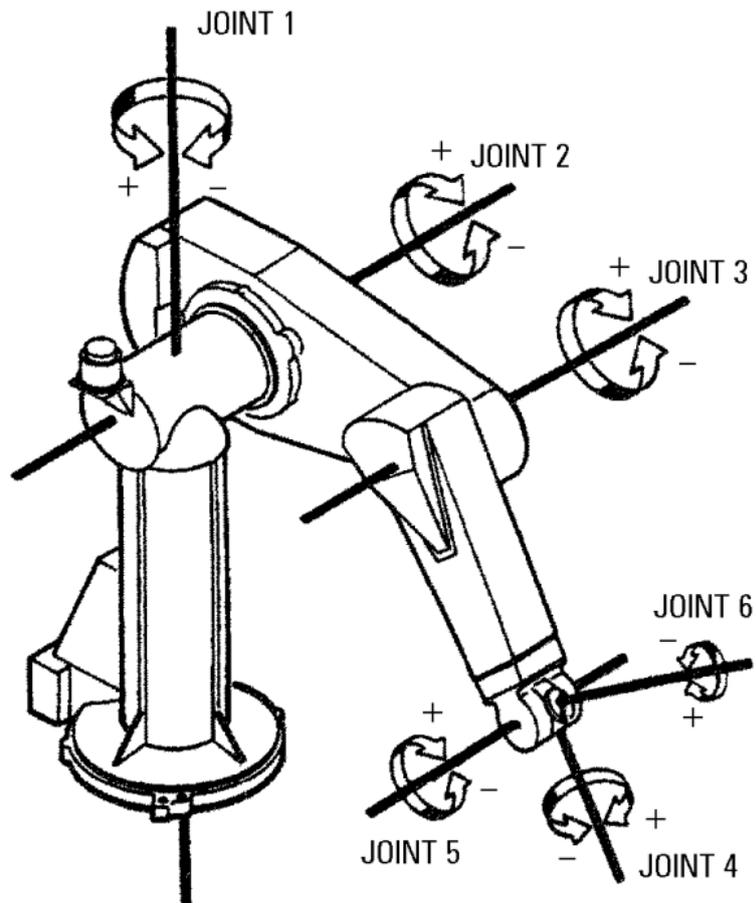
Il Robot Antropomorfo

I robot industriali sono dispositivi muniti di servomeccanismi in grado di muoversi nello spazio circostante, nonché di manipolare utensili, pezzi da sottoporre a lavorazione o altri strumenti.

La capacità di movimento di un robot, ovvero la possibilità di manipolare in modo più o meno completo un oggetto nello spazio, controllandone posizione e orientamento, è definita dal numero di gradi di libertà della sua struttura, a loro volta determinati dal numero e dalla tipologia di giunti di collegamento tra i vari elementi meccanici.

In particolare, i robot antropomorfi, così chiamati perché in grado di riprodurre le sembianze e i movimenti di un braccio umano, hanno una struttura cinematica aperta e presentano un numero di gradi di libertà variabile da 4 a 6, a seconda del modello e dell'applicazione da eseguire.





Gli elementi meccanici che costituiscono la struttura del robot sono indicati con nomi che richiamano immediatamente la stessa natura umana: partendo dalla base si ha il “Corpo” (Asse 1), la “Spalla” (Asse 2), il “Braccio” (Asse 3), il “Gomito” (Asse 4), il “Polso” (Asse 5) e la “Mano” (Asse 6).

La movimentazione, che si basa su complessi algoritmi di cinematica, viene supervisionata da un controllo elettronico centrale, generalmente caratterizzato da una notevole robustezza al fine di poter essere impiegato negli ambienti industriali più severi. I motori che movimentano i giunti sono elettrici, di tipo brushless a bassa inerzia.

Il primo robot in grado di incorporare queste caratteristiche avanzate, dotato di sistemi di controllo e azionamenti di tipo moderno, fu presentato alla Fiera di Stoccolma dall’Asea (l’attuale ABB) nel lontano 1973.

Da allora, il comparto della robotica si è progressivamente allargato, tanto che oggi si contano nel mondo 71 produttori di robot industriali, divisi essenzialmente tra Europa e Giappone (tra i più importanti la stessa ABB, Fanuc, Kuka, Comau, Kawasaki e Motoman).

L’utilizzo dei robot moderni nel campo dell’automazione integrata, permette oggi una notevole riduzione dei tempi di lavorazione e, di conseguenza, un incremento della produttività aziendale nella stessa unità di tempo: a questo si aggiunge un grande miglioramento della qualità del prodotto, grazie alle note caratteristiche di ripetibilità dell’antropomorfo. Tali macchine possono

inoltre eseguire lavorazioni in ambienti definiti “ostili”o severi, sollevando gli operatori dagli incarichi più pericolosi e gravosi, aumentandone di conseguenza il livello di sicurezza.

Grazie alle caratteristiche di adattabilità, versatilità e capacità di riutilizzo, i robot antropomorfi permettono in sostanza di perseguire l’obiettivo di un’automazione altamente flessibile: le caratteristiche insite nella loro struttura e controllo consentono infatti una notevole flessibilità meccanica e garantiscono la copertura di zone dello spazio circostante irraggiungibili dalle altre tipologie di macchine. Lo stesso movimento, facilitato dalla compattezza della struttura, si caratterizza per la sua versatilità: i robot antropomorfi sono in grado di raggiungere uno stesso punto con differenti configurazioni degli assi e di mantenere elevati livelli di precisione e ripetibilità (rispettivamente 0,1 mm e 0,55 mm per taglie di portata media) anche a fronte di alte velocità di spostamento.

Grazie alla varietà dei modelli della produzione attuale (con portate al polso da 6kg sino a 1000 kg), alle prestazioni sempre crescenti a fronte di una manutenzione quasi inesistente, i robot antropomorfi vengono oggi utilizzati nelle più disparate tipologie applicative: dalle lavorazioni meccaniche (quali sbavatura, verniciatura, saldatura, finitura, taglio), portate a termine con estrema accuratezza e flessibilità grazie alla capacità di montare sul polso differenti tipi di utensile, alla manipolazione (carico e scarico di macchine utensili, asservimento, palletizzazione), per giungere infine alle più complesse operazioni di montaggio e assemblaggio di componenti complessi, quali i motori per automobili.

I comparti applicativi spaziano dall’automotive all’aeronautico, dal food & beverage alla plastica, dal metalmeccanico all’industria elettromeccanica ed elettronica: la diffusione dei robot in tutto lo scenario industriale ha permesso a molte aziende di innovare non solo il processo produttivo, ma anche lo stesso prodotto, ottimizzandone qualità e caratteristiche.

Il futuro della robotica sarà orientato ad una sempre più importante interazione con l’ambiente: robot per così dire “intelligenti”, guidati da **sistemi di visione artificiale** ogni giorno più evoluti (già ora impiegati nel 40% delle applicazioni), in grado di eseguire operazioni complesse e controllare successivamente l’esito del proprio lavoro. L’impiego di tali macchine in uno scenario aziendale globale, dal reperimento dei componenti sino all’imballaggio del prodotto finito, passando per lavorazione e montaggio, porterà tra breve alla costruzione di veri e propri “stabilimenti automatici”.

La visione artificiale

Vantaggi ottenibili con sistemi di visione artificiale

Applicando un appropriato sistema di visione artificiale alla vostra realtà aziendale potete raggiungere traguardi qualitativi impensabili con le normali tecnologie di controllo. Inoltre applicando la percezione visiva ad un sistema robotizzato si possono influenzare sensibilmente le capacità di interazione della macchina con l'ambiente circostante.

Nei più disparati campi di applicazione i benefici più rilevanti sono:

- Ottimizzazione dell'utilizzo dei materiali e delle risorse
- Notevole aumento di affidabilità e qualità del prodotto
- Diminuzione dei costi di garanzia

Oggi è richiesto un controllo di qualità affidabile ed accurato per ogni singolo pezzo prodotto. Il controllo a campionatura non può più garantire la qualità richiesta e il costo del lavoro rende troppo oneroso il controllo manuale.

I sistemi di elaborazione digitale delle immagini soddisfano queste nuove esigenze fornendo dati oggettivi e ripetibili sulla qualità delle varie tipologie di prodotti.

Principali campi di applicazione industriale

Leggibilità Marchiature:

siano esse fatte con laser, stampanti o micro punzonatura soprattutto quando rappresentano codici necessari per la corretta identificazione degli oggetti.

Assemblaggi:

Sequenza e posizione delle componenti di un assieme. Presenza e integrità di tutte le componenti.

Misure dimensionali con precisione centesimale in un'ampia gamma di prodotti.

Qualità della superficie: individuazione di micro fessure parimenti invisibili. Integrità delle saldature, delle filettature, della struttura del materiale.

Conteggio di produzione.

Riconoscere l'orientamento, la posizione e la disposizione spaziale di oggetti particolarmente eterogenei per esempio allo scopo di manipolarli con un robot.

Riconoscere i Colori:

per esempio per verificare la corretta sequenza nel posizionamento di cablaggi elettrici.

Il sistema di visione

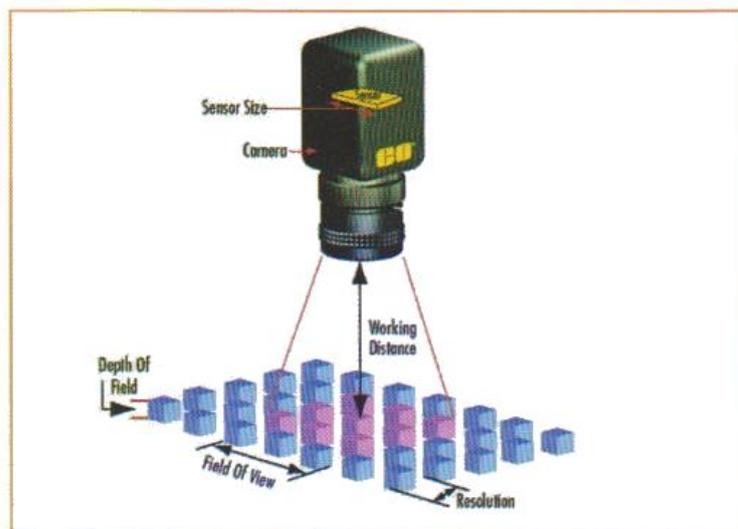
E' lo strumento che consente di estrarre dall'immagine, quindi senza alcun contatto fisico, informazioni circa la natura, le dimensioni ed altre caratteristiche intrinseche degli oggetti.

Schematicamente un sistema di visione è composto da un processore che applica particolari algoritmi, generalmente un monitor per l'interfaccia uomo macchina, una telecamera, un sensore per generare il segnale di acquisizione dell'immagine ed un sistema di illuminazione.

Quando l'oggetto da ispezionare transita sotto il campo visivo della telecamera, un segnale opportuno consente l'acquisizione e la trasmissione dell'immagine al processore che la elabora. Il risultato è trasmesso ad altri dispositivi sulla linea di produzione per le opportune selezioni.

Le esigenze di molti processi produttivi hanno superato le possibilità dell'occhio umano. Spesso la velocità delle operazioni e la dimensione degli oggetti o delle tolleranze richieste è tale che in molte attività è imperativo automatizzare anche le operazioni di riconoscimento visivo.

Sono stati sviluppati algoritmi particolari che in combinazione di sistemi di illuminazione laser sono in grado di effettuare rilievi tridimensionali adatti per l'analisi strutturale.



Localizzazione 2D

La robotica industriale rappresenta uno degli ambiti di maggior successo della visione artificiale. Gli algoritmi di localizzazione basati sulla forma geometrica dell'oggetto sono ormai assodati e sufficientemente robusti: essi sono in grado di localizzare il profilo geometrico 2D di un oggetto all'interno di un'area, fornendo la posizione (x, y) e l'angolo di rotazione a rispetto ad una posizione di riferimento in modo che un robot possa facilmente prelevarlo.

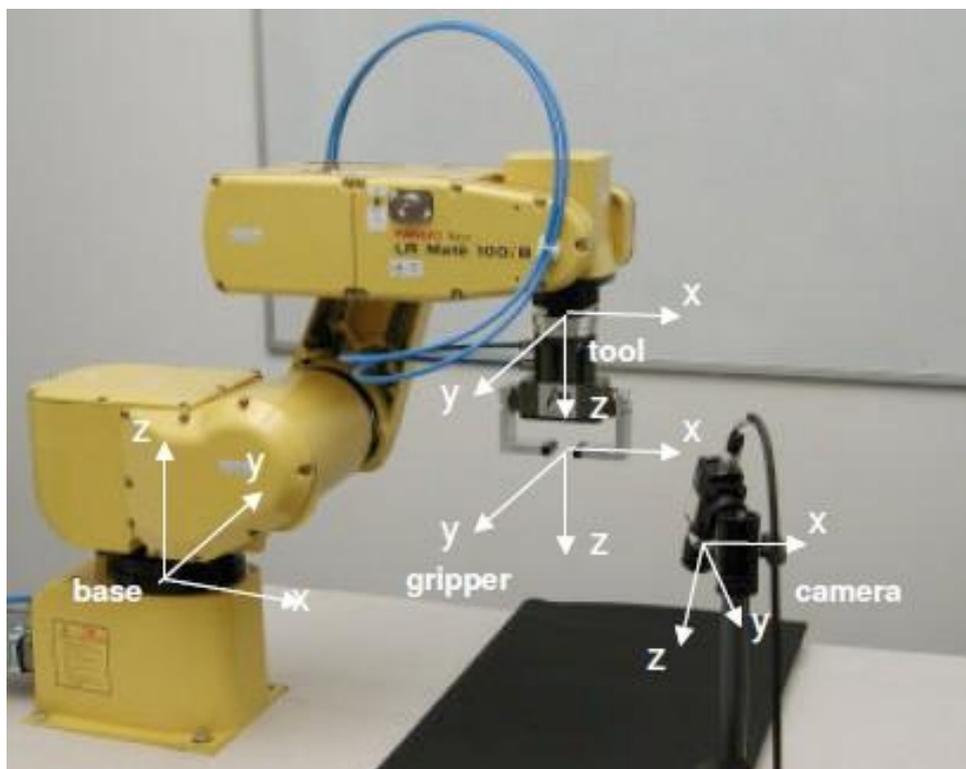
Sistemi a singola telecamera

E' noto che al fine di ottenere informazioni 3D complete, è necessario disporre di un sistema stereoscopico (immagini dell'oggetto di interesse provenienti da due punti di vista differenti). Ciononostante, fornendo le informazioni mancanti per altra via, è possibile ottenere la terza dimensione anche utilizzando sistemi a singola telecamera.

Se la superficie dell'oggetto di interesse ha una trama ben visibile, mediante la tecnica della localizzazione delle deformazioni (descritta anche nel paragrafo precedente) è già possibile ottenere la posa completa 3D semplicemente localizzando una immagine memorizzata.

Se le superfici dell'oggetto non si prestano ad una localizzazione affidabile, si può ottenere la posa 3D con una potente tecnica di localizzazione che, a partire da una singola immagine e dal disegno CAD dell'oggetto, è in grado di fornire in brevissimo tempo le 6 coordinate di posizione ed orientamento. Altre tecniche sono disponibili (in base ai tempi e agli ingombri disponibili) per localizzare la posa 3D di un oggetto mediante singola telecamera, come la Triangolazione laser o la tecnica Depth from focus.

Inoltre, risulta ancora più semplice identificare la posa completa 3D, se l'oggetto ricercato mostra una primitiva facilmente identificabile (un cerchio o un rettangolo): disponendo della sola dimensione (raggio del cerchio o lati del rettangolo) è possibile localizzare posizione ed orientamento 3D dell'oggetto in tempi dell'ordine di poche decine di millisecondi.



Linguaggio di programmazione ad oggetti Delphi (Object Pascal)

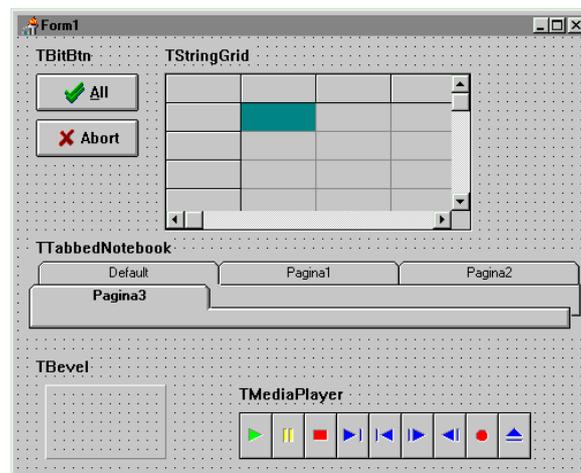
Delphi è sia un linguaggio di programmazione sia un ambiente di sviluppo. È stato creato dalla Borland (che per un certo periodo ha cambiato il suo nome in Inprise).

Alla fine del 2006 Borland ha creato una divisione, CodeGear, alla quale sono stati trasferiti tutti gli ambienti di sviluppo, incluso Delphi. Il 7 maggio 2008 la divisione CodeGear è stata acquistata per 23 milioni di dollari dalla società Embarcadero Technologies rappresentata in Italia da bit Time Software.

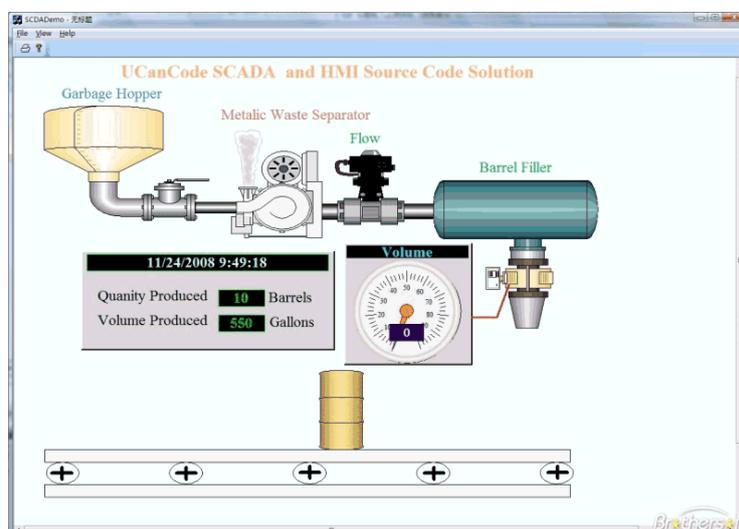
Il linguaggio Delphi, precedentemente conosciuto come Object Pascal (una versione di Pascal orientata agli oggetti), è stato sviluppato inizialmente per Microsoft Windows, ma negli ultimi anni sono state pubblicate versioni per GNU/Linux, PHP (Kylix) e per il framework .NET di Microsoft.

È molto utilizzato per lo sviluppo di applicazioni desktop e aziendali che utilizzano database, ma essendo uno strumento di sviluppo di carattere generico lo si può utilizzare per qualsiasi tipo di progetto.

La figura sottostante mostra alcuni degli oggetti visuali a disposizione dall'ambiente di sviluppo:



Segue un esempio di applicazione SCADA (sistema di supervisione e controllo)



Linguaggio di programmazione del Robot

Lista comandi principali

...

Esempi movimenti ottenuti con il comando $MP\ x, y, z, \theta_p, \theta_f$



angolo polso 50°, flangia 0°



angolo polso 80°, flangia 0°



angolo polso 80°, flangia 90°



angolo polso 80°, flangia -90°

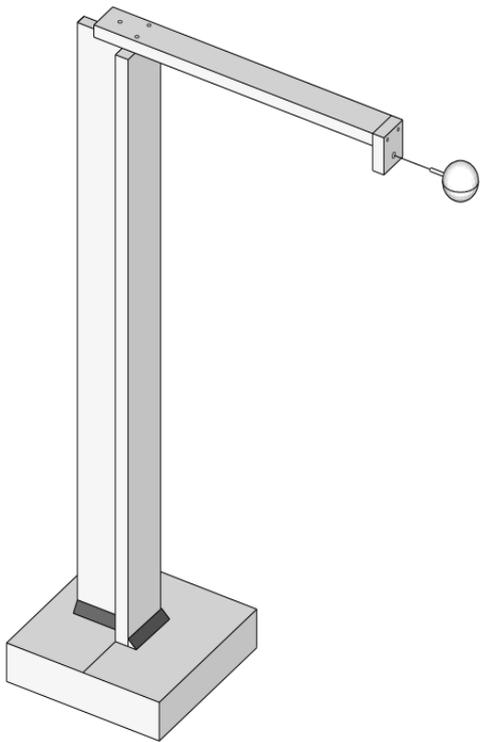
Descrizione del lavoro realizzato

Realizzazione della struttura portante della webcam

La struttura di sostegno della webcam è stata realizzata nell'officina meccanica dell'istituto in due fasi distinte.

Nella prima fase è stata costruita una struttura simile ad una gru a bandiera da agganciare alla griglia di protezione dello spazio di lavoro del robot. Questa soluzione non si è però rivelata soddisfacente poiché durante il funzionamento del robot le accelerazioni del braccio generano forze di inerzia tali da far oscillare sensibilmente la struttura di sostegno della.

Nella seconda fase quindi si è optato per una struttura di sostegno esterna indipendente tale da garantire l'utilizzo della webcam in qualsiasi posizione e senza interferire con la gabbia del robot.



Misure rilevate dalla webcam impiegata

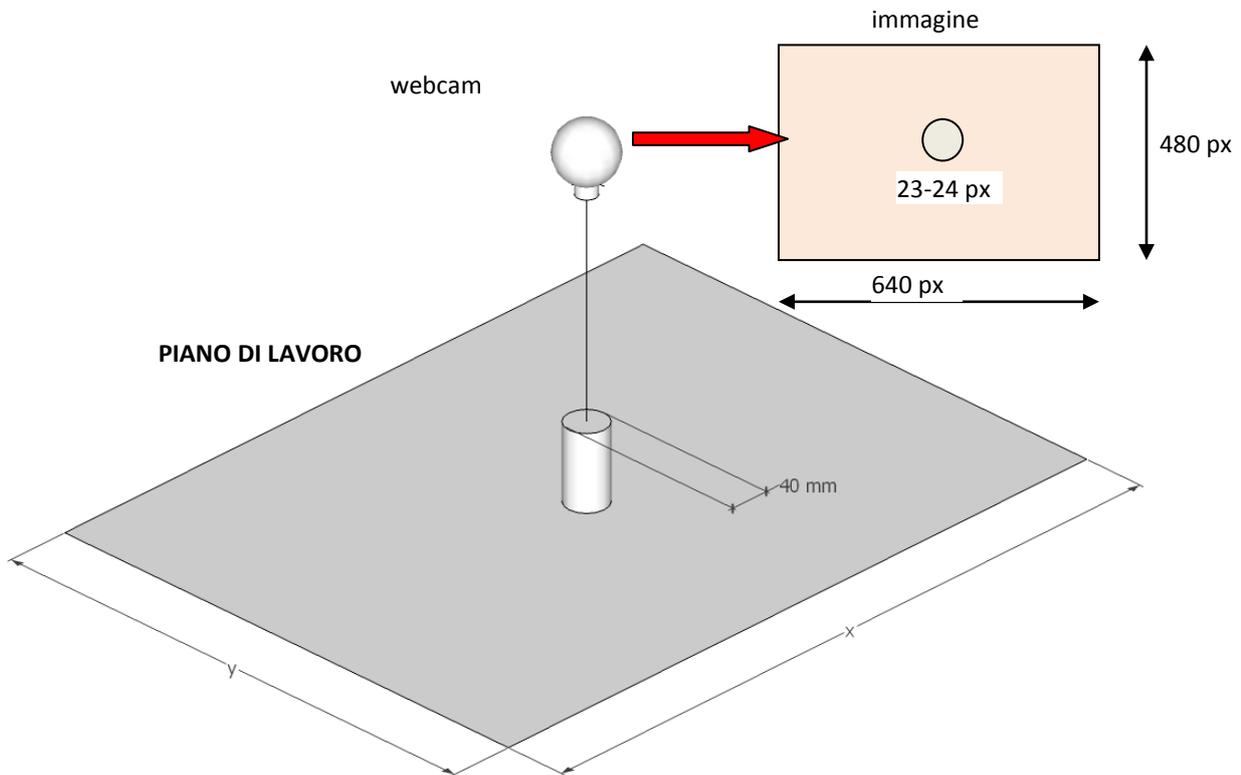
La web cam utilizzata (Logitech Quick Cam usb) presenta una risoluzione di 640x480 pixel.

Un pezzo circolare di diametro effettivo di 40 mm viene rilevato dalla telecamera (posizionata in asse sopra il pezzo) con una dimensione pari a 23-24 pixel.

C'è quindi un rapporto di $40/24 = 1,67$ fra misura effettiva e misura digitalizzata.

Lo scarto di 1 pixel nella precisione della rilevazione si traduce quindi in circa 2 mm di errore.

Per una maggiore precisione si dovrebbe utilizzare una telecamera digitale di precisione che oltre a non introdurre un errore di 1 pixel nella rilevazione presenta anche una risoluzione nettamente superiore.



Assumendo un rapporto di conversione di 1,67 la misura rilevata di un pezzo di diametro 40 mm potrà essere:

23 px → 38.41 mm

24 px → 40.08 mm

con un errore quindi 1,67 mm.

Costruzione del percorso dell' "end effector"

Il percorso della pinza terminale del robot è stato costruito attraverso la "teaching box" che permette lo spostamento nello spazio della pinza e la registrazione di tutte le posizioni intermedie occupate. Le coordinate di queste posizioni sono necessarie alla realizzazione del programma di comando del robot che dovrà essere attivato quando la telecamera rileva la presenza di un pezzo circolare nell'area di lavoro.

Programma di rilevazione pezzi circolari e comando robot

Il programma è stato realizzato in Delphi con la supervisione del prof. Delbarba Luca.

Sono state utilizzate delle librerie di terze parti per il controllo di visione (Mitov VisionLab) e per il controllo della porta seriale RS232 (interfacciata al robot).

Il programma una volta avviato si interfaccia alla webcam ed inizia ad acquisire le immagini del piano di lavoro del robot dove possono essere posizionati dei pezzi cilindrici.

In **modalità manuale** quando viene posizionato un pezzo cilindrico (nella posizione fissa di lavoro) il programma rileva il pezzo e interrompe l'acquisizione automatica delle immagini.

A questo punto l'operatore può inviare (dal programma) al robot il comando di prelievo e spostamento e al termine può far ripartire il riconoscimento dei pezzi.

In **modalità automatica** il programma, dopo aver individuato un pezzo sul piano di lavoro, invia autonomamente al robot il comando di prelievo e spostamento e al termine riattiva il ciclo di riconoscimento dei pezzi senza alcun intervento umano.

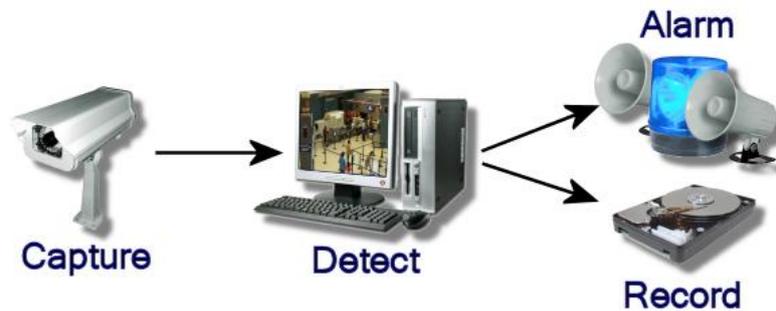
Parte in inglese

VisionLab Library

VisionLab allows rapid development of fully featured computer vision applications for the security industry, scientific and other applications. It also includes Hough Lines, edge detection, contour detection, Haar face and object detection, robust features, and target detecting/tracking components.

Applications include: capture and detect motion, capture and track moving targets in video, detect contours and objects *in video*, real time data acquisition, process control, artificial intelligence, signal analysis, digital signal analysis, video analysis, data visualization, visual instrumentation and more.

Capture and detect motion:



Capture, detect and track targets:



Capture and detect contours and objects in the video:



VisionLab includes a full set of video capturing components. They support the old fashion Win32 API(Video For Windows (VFW), WaveAPI, Audio ACM), the newer DirectShow, and even allows if needed any mixture of them. The developer can choose to go with any of them, to use all, or can switch from the one to the other at any moment. The components hide the complexity of all of the approaches, and make them look almost identical from the users prospective.

The library includes Motion Detection component, Hough Lines and Circles components, Canny and Adaptive Threshold edge detectors, contour detector, Haar face and object detector, target finding and tracking components, robust features component.

VisionLab: for full-featured motion detection applications with almost zero lines of code!

VIDEOCAMERA PROFESSIONALE PER CONTROLLO DI VISIONE

Pulnix TM-9701



2/3", 768x484, Progressive Scan CCD

Small and lightweight, the PULNiX TM-9701 camera is a high-resolution monochrome CCD camera with many capabilities. The interline progressive scan CCD permits high-speed dynamic image capture with full vertical and horizontal frame resolution. The fully electronic asynchronous shutter allows image capture upon external command, and can be asynchronously reset via an external pulse. In addition to the RS-422 digital progressive scan output, an internal A/D and scan converter offers users the tremendous versatility of RS-170 analog interlace output which can be displayed on a standard monitor. The internal frame store holds the captured image for read-out to a frame grabber or host processor. This allows the TM-9701 to interface with a wide range of frame grabbers, while assuring that the captured images are transferred successfully.

Product Details

Manufacturer	JAI-Pulnix
Component	Camera
Camera - Color/Mono	Monochrome
Camera - Analog/Digital	Digital and Analog
Camera Horizontal Resolution	768
Camera Vertical Resolution	484
Camera Sensor Size	2/3"
Camera Sensor Type	CCD
Camera Pixel Size (µm)	11.6 x 13.6
Weight	750 g

Pulnix TM-9701 Camera Features Include:

- High resolution 2/3 progressive scanning interline transfer CCD imager 768(H) x 484(V) Internal A/D converter
- Asynchronous reset with external shutter control
- Full frame shutter, 1/60 to 1/16,000 sec.
- Frame memory built-in for async image capturing
- Full frame integration with uninterrupted video
- Excellent S/N (50 Db) AGC on/off, gamma 1 or 0.45

Bibliografia

- Libro di testo di “Sistemi ed automazione” autore Natale Aguzzi
- Wikipedia: la principale biblioteca online
- Sito web della Comau (robotica): www.comau.it
- Sito web della Fanuc (robotica): www.fanuc.com
- Sito web produttore videocamere Pulnix: www.pulnix.com
- Sito web Delphi (Emarcadero): www.embarcadero.com
- Sito web librerie MITOV per delphi: www.mitov.com
- Manuale del robot presente in laboratorio di Sistemi ed Automazione
- Dispense del docente