

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PERUGIA
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

CORSO DI LAUREA IN INFORMATICA



Tesi di Laurea

**Implementazione di un sistema mobile ed autonomo
per la ricerca di oggetti in base al colore**

Laureando

Simone Mariotti

Relatori

Prof. Marco Baiocchi

Dott. Emanuele Palazzetti

Anno Accademico 2013-2014

TODO: DEDICA

Indice

Introduzione	1
1 Visione Artificiale	2
2 Componenti hardware	7
2.1 UDOO Quad	7
2.2 Tank Kit	10
2.3 Sensori	10
2.3.1 Sensore di riflessività - QRD1114	10
2.3.2 Sensore di distanza a ultrasuoni - HC-SR04	13
3 Componenti software	17
3.1 OpenCV	17
3.2 ADK	18
3.3 ADK Toolkit	20
4 Implementazione	22
4.1 Android	22
4.1.1 Il package logic	22
4.2 Arduino	24

Conclusioni	25
Bibliografia	26
Elenco delle immagini	27

Introduzione

Obiettivi

Strumenti utilizzati

Capitolo 1

Visione Artificiale

La *visione artificiale* è l'unione dei procedimenti che permettono di creare un modello del mondo reale in tre dimensioni a partire da numerose immagini bidimensionali per cercare di emulare il processo biologico della vista. Negli umani, così come in molte altre specie, vedere non è solo scattare una fotografia bidimensionale mentale di un ambiente, è interpretare le informazioni ricevute attraverso la retina per analizzare e creare un modello 3D dell'ambiente circostante.

Un sistema di visione artificiale, per provare ad avvicinarsi alla capacità visiva e di interpretazione umana, ha bisogno di numerosi componenti di diversa natura: ottici, elettronici e meccanici per acquisire e memorizzare le immagini da elaborare. Il primo tentativo in tal senso è datato 1883 quando Paul Gottlieb Nipkow inventò il primo sistema in grado di trasformare o meglio trasdurre, informazioni visive in un segnale elettrico.

Il sistema si basa su un disco con dei fori praticati lungo una spirale che parte dal centro del disco e procede verso l'esterno. Il disco ruota ad una velocità costante mentre l'immagine inquadrata viene focalizzata da una lente

verso i fori in modo che un sensore, posto sul retro del disco, possa percepire i cambi di luminosità della porzione di scena inquadrata e convertire questa variazione in segnali elettrici.

Il ricevitore emetterà luce in base a dei segnali elettrici e attraverso un disco identico al primo e in rotazione sincrona proietterà un'immagine con tante righe quante sono i fori del disco. Questo sistema porterà alla creazione della TV meccanica nel 1925. Negli anni successivi, con l'introduzione della

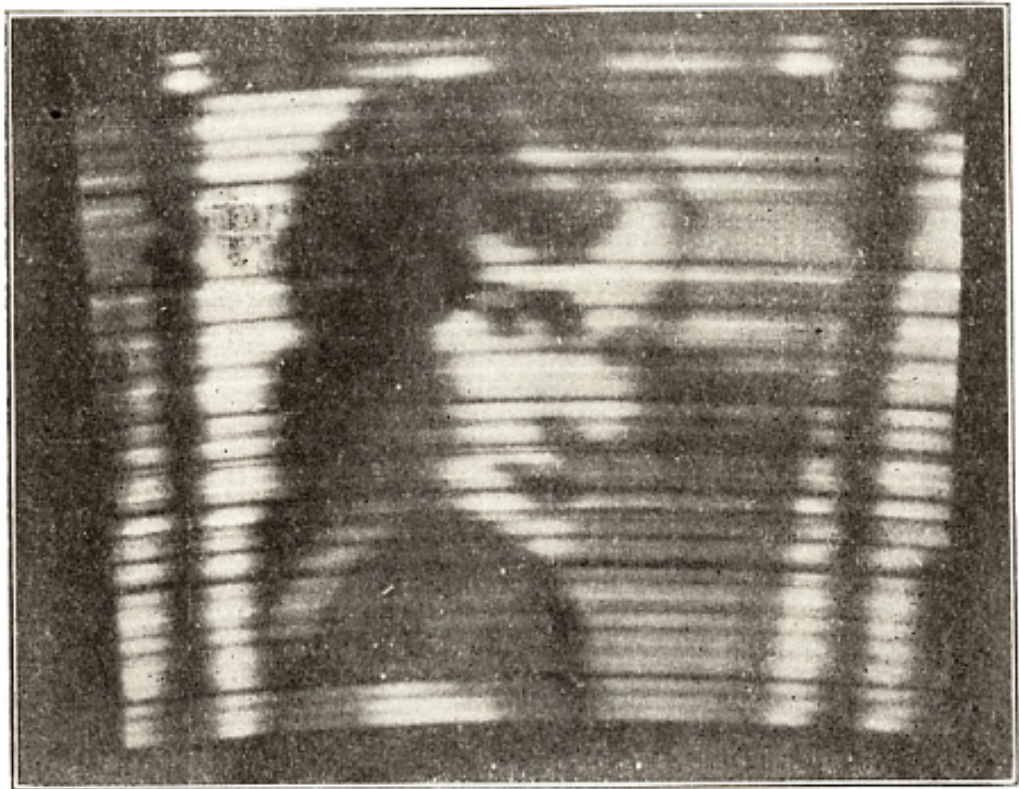


Figura 1.1: Immagine visibile su una TV meccanica del 1925

miniaturizzazione nell'elettronica, sono stati compiuti enormi progressi. Da un punto di vista teorico, gli scienziati cominciarono ad ispirarsi al corpo umano, una delle migliori "macchine" esistenti, nel tentativo di riprodurre

il suo comportamento. Analizzando da vicino l'occhio e in particolare la retina hanno scoperto che era formata da minuscoli recettori sensibili alla luce collegati, tramite il nervo ottico, al cervello. Si è così deciso di creare dei micro sensori di luce e formarne un'enorme matrice. Il primo risultato di questi studi si ebbe circa 40 anni dopo e fu il sensore CCD¹, ideato da Willard S. Boyle e George E. Smith nel 1969 presso i Bell Laboratories, mentre dobbiamo aspettare il 1993 per vedere i primi prototipi funzionanti del sensore CMOS² sviluppati presso il Jet Propulsion Laboratory, entrambi hanno come elemento base il fotodiodo che equivale ad un pixel. Il CCD è un sensore analogico³ che ha bisogno di più energia ma offre in genere una qualità superiore un rumore minore ad un costo più elevato.

Il CMOS è un sensore digitale che offre una buona qualità di immagine ad

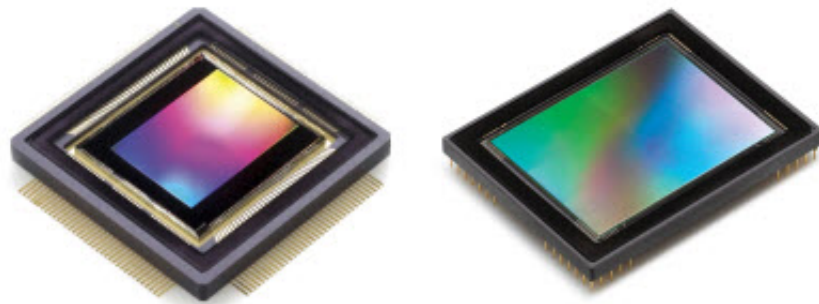


Figura 1.2: Due sensori moderni. A sinistra un sensore CMOS a destra uno CCD

costo minore; per contro l'immagine presenta un forte rumore a causa della

¹Charge-Coupled Device

²Complementary Metal-Oxide-Semiconductor

³Il sensore più grande esistente è di 1,4 Gigapixel ed è montato sul telescopio Pan-STARRS sviluppato per l'individuazione di meteoriti in rotta di collisione con la Terra

conversione analogico-digitale.

La visione artificiale ha principalmente tre utilizzi:

- **Ricognizione:** ricercare uno o più oggetti, scelti a priori, e organizzarli in insiemi generici o classi mantenendo informazioni riguardo il loro posizionamento nella scena.

Esempio: ricercare in un'immagine o in un video tutte le persone, le macchine o gli animali.

- **Identificazione:** identificare una istanza specifica di una classe di oggetti.

Esempio: ricercare in un'immagine o in un video un volto, una macchina o un animale specifico..

- **Individuazione:** cercare una condizione specifica nell'immagine.

Esempio: cercare imperfezioni nelle immagini a raggi X di superfici o materiali.

Un campo che ne fa massiccio utilizzo è la modellazione di ambienti 3D a partire da due o più immagini 2D; questo è stato reso possibile grazie all'enorme aumento della capacità di elaborazione grafica delle GPU.

La visione artificiale è stata applicata a molti altri campi nei quali si è verificata una vera e propria rivoluzione. Uno di questi è la medicina nella quale l'introduzione di questa tecnica ha portato alla realizzazione di radiografie, angiografie, tomografie e molte altre; in questo modo è possibile identificare anomalie e problemi, quali i tumori, che non sarebbero visibili all'occhio umano se non in seguito a procedure molto invasive. Un altro campo è quello del controllo di veicoli autonomi i quali stanno aumentando ad un ritmo

vertiginoso, progressivamente al migliorarsi delle tecniche di visione artificiale. Autovetture, droni, robot e carri per il rifornimento sono solo degli esempi a cosa può portare la visione artificiale applicata nei settori civili e di ricerca. La nostra tesi si concentra proprio sull'applicazione ad un robot



Figura 1.3: Drone della società statunitense Amazon. Consegnerà prodotti a domicilio in completa autonomia

autonomo dei concetti di visione artificiale appena descritti.

Capitolo 2

Componenti hardware

2.1 UDOO Quad

UDOO è un progetto tutto italiano di una piattaforma hardware destinata alla generazione dei “makers”, cioè quelle persone che vogliono realizzare i propri progetti con le tecnologie a basso costo ad oggi disponibili. La scheda ha visto la luce dopo una sorprendente campagna di crowdfunding ¹ terminata l'8 Giugno 2013 con 4172 donazioni per un totale di \$641.612 a fronte di \$27.000 richiesti per iniziare la produzione. Per permettere l'utilizzo di librerie e applicazioni computazionalmente pesanti come openCV, PureData e altre UDOO monta un processore ARM Freescale i.MX6 Cortex-A9 Quad core 1GHz che supporta sia Android che Linux. Il tutto è completato da una GPU Vivante, 1GB di RAM DDR3, numerose porte di I/O come SATA, microfono, audio out, Ethernet, HDMI, USB, connettore per display LVDS con touch screen, connettore CSI per camera esterna e connettività bluetooth e Wi-Fi. La periferica di “boot” è una microSD il che permette

¹dall'inglese crowd, folla e funding, finanziamento. In italiano finanziamento collettivo.

un rapido passaggio da Linux a Android e viceversa. Quello che però rende veramente unica questa piattaforma, e che ne ha fatto la nostra scelta per questo progetto di tesi, è la presenza di un Arduino DUE completamente integrato nella stessa board. E' presente una CPU Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3² e 76 GPIO³, di cui 62 digitali e 14 digitali/analogici, disposti per essere perfettamente compatibili con la piedinatura dell'Arduino DUE e dell'Arduino UNO Rev.3.

La presenza di un Arduino DUE all'interno della board rende UDOO una scheda di prototipazione a tutti gli effetti e apre nuovi interessanti scenari e possibilità unendo la versatilità e semplicità di Arduino, la potenza di calcolo del Freescale i.MX6 e le numerose periferiche disponibili per Linux o Android.

Essendo una piattaforma open-source è possibile accedere alla shell del sistema operativo come root tramite la porta seriale integrata e modificare a piacimento la configurazione del sistema operativo. Arduino è collegato al Freescale i.MX6 tramite un bus interno e quindi viene rilevato come una normale periferica USB da Linux; su Android la comunicazione tra i due dispositivi avviene sullo stesso bus ma usa lo standard USB OTG⁴. L'interconnessione tra l'accessorio Arduino e l'applicazione Android è realizzata tramite l'ADK⁵ 2012, di cui parleremo più avanti in questo stesso capitolo, che permette l'integrazione delle più disparate periferiche a dispositivi

²la stessa di cui dispone l'Arduino DUE

³General Purpose Input/Output

⁴On-The -Go è una specifica che permettere di agire come host ad un qualsiasi dispositivo (tipicamente smartphone e tablet). A differenza dell'USB classico l'OTG è driver-less, cioè non necessita l'installazione di driver specifici per ogni dispositivo

⁵Android Development Kit

2.2 Tank Kit

Per dare la giusta stabilità e manovrabilità al robot si è deciso di usare una locomozione a cingoli che richiede solo due motori e permette di ruotare sul posto o comunque in spazi ristretti: la nostra scelta è stata il “Multi-Chassis - Tank Version”. Questa piattaforma, appositamente pensata per la realizzazione di robot multifunzione, si è rivelata la scelta perfetta in quanto possiede due potenti motori DC già forniti di riduttori 48:1 per affrontare terreni impervi e scoscesi, quattro ruote da 52 mm di diametro a cui sono applicati i due cingoli. E’ presente anche un alloggiamento per un servomotore standard che nella nostra applicazione non è stato usato. L’intelaiatura, di alluminio spesso 2,5 mm, presenta numerosi fori e asole per il montaggio di accessorie quali sensori, staffe e motori. Presenta inoltre un “doppio fondo” in cui sono alloggiati i motori DC e i riduttori e in cui è possibile sistemare altri componenti che non debbano essere facilmente accessibili.

2.3 Sensori

2.3.1 Sensore di riflessività - QRD1114

Avevamo la necessità di fornire al robot un modo per rilevare eventuali sconfinamenti dall’ambiente di test che fosse il più flessibile possibile. Abbiamo optato per il sensore di riflessività QRD1114 prodotto dalla Fairchild Semiconductor: questo sensore è costituito da un LED infrarosso e un fototransistor tarato sulla luce infrarossa e con filtro per la luce solare onde evitare disturbi. Il robot era stato pensato per lavorare su un tavolo o altra

superficie con spigoli netti: per rilevare l'imminente caduta in questo tipo di ambiente sarebbe stato sufficiente un sensore di distanza puntato verso terra. Con il sensore di riflessività abbiamo reso possibile l'utilizzo in terra o comunque in ambienti estesi delimitati da un recinto spesso circa 10 cm realizzato con materiale a basse riflettività come del semplice cartoncino nero opaco. Il sensore non fa differenza tra il cartoncino nero o lo spazio a fianco di un tavolo, rileva semplicemente una riflessività vicina allo zero. Il sensore così come fornito dal produttore non è direttamente utilizzabile, per far sì che Arduino potesse acquisire dal sensore valori proporzionali alla riflessività del materiale in esame abbiamo dovuto realizzare un circuito elettronico di interfaccia.

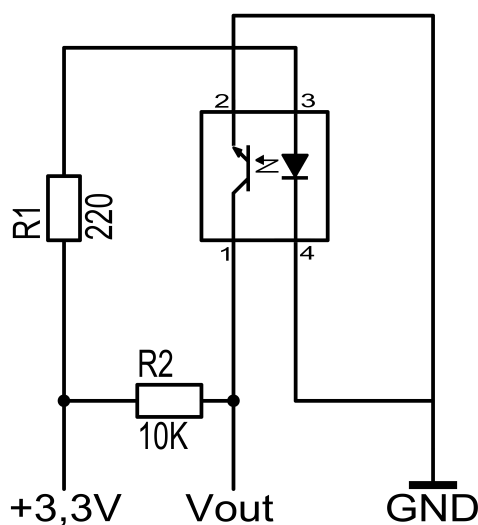


Figura 2.2: Circuito di interfaccia tra Arduino DUE e il sensore QRD1114

Il circuito alimenta il LED tramite una resistenza da 220Ω ($R1$) e colle-

ga V_{CC} ⁶ al collettore del fototransistor tramite una resistenza da $10\text{ k}\Omega$ ($R2$) mentre l'emettitore è collegato a terra; il punto da cui prelevare il segnale (V_{OUT}) è tra $R2$ e il collettore. Il principio alla base del circuito è semplice: il LED è sempre acceso e illumina in modo diffuso parallelamente al fototransistor. Il fototransistor in assenza di luce o, nel nostro caso, in presenza di una bassa riflessività si trova in stato di interdizione; i pin di Arduino impostati come input sono in configurazione “alta impedenza”, equivalenti ad un interruttore aperto dal punto di vista circuitale, quindi non c'è passaggio di corrente né tramite il transistor né tramite la resistenza $R2$ il che porta esattamente il valore di V_{CC} in ingresso ad Arduino. Quando il fototransistor è totalmente illuminato, cioè in presenza di alta riflessività, entra in stato di conduzione così che nel punto V_{OUT} si venga a trovare la massa. Ogni stato intermedio di illuminazione equivale ad una conduzione parziale del fototransistor a cui corrisponde una tensione proporzionale alla riflessività sul pin V_{OUT} . Il sensore può essere utilizzato in modalità digitale o analogica semplicemente collegando il pin V_{OUT} ad un pin digitale o analogico e cambiando la configurazione relativa all'interno della programmazione di Arduino. La configurazione digitale si è rivelata inadatta all'applicazione in quanto l'intervallo di valori che rappresenta un oggetto riflette nelle immediate vicinanze del sensore, e quindi lo stato di normale funzionamento, è troppo stretto e anche un minimo sussulto manda il robot in allarme sconfinamento. La configurazione analogica invece ci permette di avere circa 1024 valori discreti dal trasduttore, abbiamo quindi impostato una soglia oltre la quale il robot va in allarme sconfinamento; è importante notare che questa libertà nello scegliere una soglia di allarme ci

⁶pari a 3,3 V nell'Arduino DUE

permette di effettuare una calibrazione affinata in base al materiale su cui si svolge il test per minimizzare la possibilità di falsi positivi.

2.3.2 Sensore di distanza a ultrasuoni - HC-SR04

Il robot aveva bisogno di conoscere la distanza degli oggetti che si trovavano di fronte ad esso, la scelta è ricaduta un sensore ad ultrasuoni, a discapito di uno ad infrarossi, per la totale assenza di disturbi dovuti all'illuminazione dell'ambiente di test. In particolare abbiamo scelto il sensore HC-SR04 che offre ottime prestazioni, è facile da integrare ed è di dimensioni contenute. Il sensore può rilevare oggetti distanti da 2 cm a 400 cm con una risoluzione di 0,3 cm entro un cono frontale con apertura di 60° , 30° per lato rispetto alla perpendicolare dal sensore.

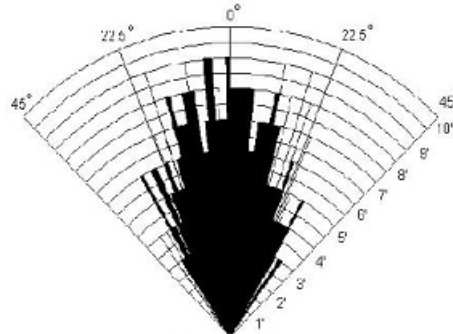


Figura 2.3: Risposta del sensore rispetto alla posizione dell'ostacolo

Il collegamento alla piattaforma di sviluppo è effettuato tramite quattro pin: $+5V$, *trig*, *echo* e *GND*. Il funzionamento è piuttosto semplice, una volta alimentato il sensore si invia sul pin *trig* un impulso di durata $10\mu s$, il sensore invia quindi un impulso ultrasonico e restituisce sul pin *echo* un segnale positivo di durata pari al tempo di percorrenza andata e ritorno del

segnale ultrasonico. Una volta ottenuto il tempo di percorrenza si utilizza la formula del moto rettilineo uniforme:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

sapendo che la velocità del suono a 20 °C è approssimabile a 344 m/s allora la durata dell'impulso di *echo* sarà compreso tra 116.3 μ s e 23,26 ms rispettivamente per distanze percorse di 4 cm (2+2) e di 8 m (4+4).

Per ricavare la distanza (d) in centimetri a partire dalla durata dell'impulso notando che 344 m/s = 29,1 cm/ μ s e indicando con T_e la durata dell'impulso di echo usiamo:

$$d = \frac{T_e}{2 \cdot 29,1}$$

Per quanto riguarda il collegamento ad Arduino se la nostra scheda accettasse input a 5 V questo sensore non avrebbe bisogno di nessun accorgimento per essere collegato, purtroppo però, anche se la nostra UDOO e l'Arduino DUE in essa integrato possono fornire alimentazione a 5 V, non possono accettare input allo stesso voltaggio ma solo a 3,3 V.

Allo stesso modo del sensore QRD1114 ci serve un circuito di interfaccia che in questo caso sarà un semplice partitore di tensione il cui schema generico è riportato di seguito

Il partitore di tensione, a fronte di un noto valore di tensione di ingresso V_{IN} riesce a fornirci il valore di tensione desiderato in uscita V_{OUT} tramite due resistenze opportunamente dimensionate.

La formula che regola il partitore di tensione è la seguente

$$V_{OUT} = V_{IN} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

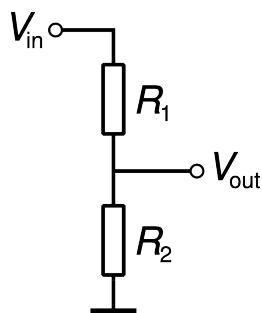


Figura 2.4: Schema generico del partitore di tensione

nel nostro caso $V_{IN} = 5\text{ V}$ e $V_{OUT} = 3,3\text{ V}$ quindi scegliendo arbitrariamente il valore di R_1 $1\text{ k}\Omega$ ricaviamo semplicemente il valore di R_2 tramite la formula inversa

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{V_{OUT}}{V_{IN} - V_{OUT}}$$

che da come risultato $1941,48\ \Omega$; approssimando il valore appena calcolato al più vicino taglio standard di resistenze, cioè $R_2 = 2\text{ k}\Omega$, si ottiene $V_{OUT} = 3,3$ che è assolutamente accettabile.

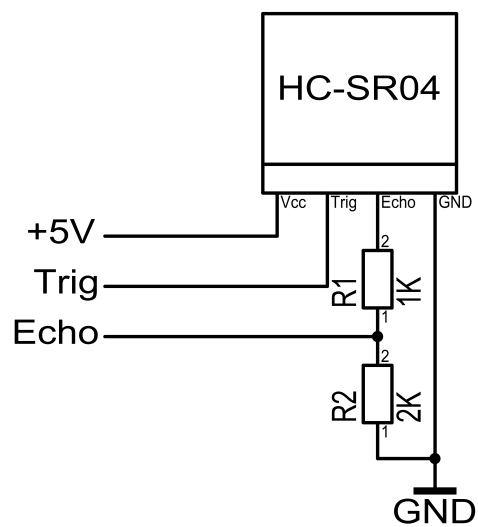


Figura 2.5: Circuito di interfaccia tra Arduino DUE e il sensore HC-SR04

Capitolo 3

Componenti software

3.1 OpenCV

Per dare al robot una visione dell'ambiente circostante ci serviva una libreria di visione artificiale. Le più famose disponibili per Java sono OpenCV e JavaCV; la nostra scelta è stata OpenCV per via della maggiore disponibilità di documentazione. OpenCV¹ è stata originariamente sviluppata da Intel che cercava di migliorare le prestazioni delle loro CPU con applicazioni computazionalmente pesanti come per esempio gli algoritmi di *ray tracing*² ed è ora disponibile sotto licenza BSD.

La libreria per poter funzionare su un dispositivo Android ha bisogno di un'applicazione di supporto chiamata OpenCV Manager che può essere scaricata dal Play Store o installata direttamente con il pacchetto apk.³ La

¹Open Source Computer Vision

²Tecnica di geometria ottica che analizza il percorso dei raggi di luce. In grafica 3D è un algoritmo di rendering che costruisce la scena facendo partire i raggi luminosi dalla camera (visuale del giocatore) invece che dalla sorgente luminosa.[1]

³Android Package, il tipo di file delle App Android simile al formato JAR

libreria viene caricata in modo asincrono all'avvio dell'App e fornisce ogni frame come una matrice dove ogni cella rappresenta un pixel; OpenCV usa il tipo di dato interno Mat per rappresentare le matrici. Tutte le operazioni effettuate su oggetti di tipo Mat usano algoritmi appositamente ottimizzati per le operazioni tra matrici.

3.2 ADK

In Android, a partire dalla versione 3.1, è supportato il protocollo Android Open Accessory (AOA), ogni accessorio sviluppato per Android deve supportare lo stesso protocollo.

A causa della limitata autonomia dei dispositivi su cui Android è maggiormente utilizzato (smartphone e tablet) l'AOA impone che l'accessorio funga da host e alimenti quindi il bus utilizzato

Per usare Arduino come un accessorio per Android e rispettare lo standard AOA esiste la libreria *adk.h* che permette di dialogare con un dispositivo Android dopo un'accurata configurazione. Android distingue diversi accessori sulla base di informazioni che ogni accessorio fornisce all'atto della connessione, queste informazioni sono:

- Vendor
- Name
- Longname
- Version
- Url

■ Serial

Il dispositivo Android accetterà la richiesta di connessione solo se le stringhe identificative in suo possesso combaciano perfettamente con quelle fornite dall'accessorio. Per ottenere effettivamente la connessione bisogna indicare ad Android quali sono gli accessori supportati e quale applicazioni è in grado di gestire un particolare accessorio. Questo si ottiene inserendo la successiva direttiva nel Manifest file dell'App

Codice 3.1: Porzione del Manifest file dell'App

```
...  
<meta-data  
    android:name="android.hardware.usb.action.  
                                USB_ACCESSORY_ATTACHED"  
    android:resource="@xml/usb_accessory_filter" />  
...
```

In questo modo alla connessione di qualsiasi accessorio sarà il sistema operativo a suggerire di aprire una certa app se l'accessorio connesso è presente nel file `usb_accessory_filter.xml` associato.

Nel nostro caso il file `usb_accessory_filter.xml` si presenta così

Codice 3.2: `usb_accessory_filter.xml`

```
<resources>  
    <usb-accessory  
        version="0.1.0"  
        model="Mobile-Tanker"  
        manufacturer="Simone Mariotti"/>  
</resources>
```

Le stesse identiche stringhe saranno impostate durante la fase di configurazione di Arduino in modo da permettere l'accoppiamento.

3.3 ADK Toolkit

L'ADK toolkit è una libreria che aggiunge un grado di astrazione all'ADK, l'invio e la ricezione dei messaggi sono semplificati così come l'inizializzazione della connessione.

Il toolkit si basa su due classi principali: `AdkManager` e `AdkMessage`.

`AdkManager` espone metodi per la gestione della connessione e per l'invio e la ricezione di dati. `AdkMessage` rappresenta il messaggio ricevuto dall'accessorio ne suo formato nativo, cioè un array di byte; tramite dei metodi ausiliari, `getString()`, `getFloat()`, `getInt()`, è possibile ottenere una versione tipizzata del messaggio e naturalmente la versione “grezza” dei dati con `getBytes()` e `getByte()`.

Grazie a questa libreria l'uso dell'ADK, originariamente poco intuitivo, diventa efficiente ed elegante

Codice 3.3: Inizializzazione della connessione con l'accessorio

```
private AdkManager mAdkManager;

@Override
protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
    // ...

    mAdkManager = new AdkManager(this);
}
```



```
@Override  
protected void onResume() {  
    super.onResume();  
    mAdkManager.open();  
}
```

Codice 3.4: Lettura e scrittura dati

```
// Write  
adkManager.write("Ciao da Android!");  
  
// Read  
AdkMessage response = adkManager.read();  
System.out.println(response.getString());  
// Could outputs: "Ciao da Arduino!"
```

Capitolo 4

Implementazione

4.1 Android

L'app per Android è stata sviluppata avendo come priorità la modularità. E' infatti molto semplice cambiare totalmente il comportamento del robot o la codifica dei messaggi sostituendo o modificando una singola classe senza coinvolgere il resto del codice.

La modularizzazione a grana più grossa è a livello di package: ci sono tre package, ognuno con un compito preciso, e sono **logic**, **messaging** e **opencv**.

4.1.1 Il package logic

Contiene tre classi: RobotActivity, RobotLogic e UpdateDirections.

La classe *RobotActivity*

Come suggerisce il nome è l'Activity vera e propria, cioè quella classe che il sistema operativo istanzia all'avvio dell'app. Essa stessa istanzia e prepara tutti gli altri oggetti per l'esecuzione. Implementa due interfacce: *View.OnTouchListener* e *CvCameraViewListener*. La prima permette di gestire gli input da touch screen senza ricorrere ad una classe esterna, la seconda è un'interfaccia presente nella libreria OpenCV e permette di “intercettare” i frame proveniente dalla camera prima che vengano renderizzati a schermo tramite l'override del metodo *OnCameraFrame()*. Ogni frame verrà elaborato e solo alla fine visualizzato a schermo. All'avvio si occupa di inizializzare OpenCV tramite la callback *BaseLoaderCallback* e ottiene il riferimento all'istanza dell'ADK tramite l'ADKToolkit. Normalmente sarebbe buona norma interrompere le connessioni quando l'app si prepara allo stato di “pause” e cioè nel metodo *onPause()* purtroppo però un bug dell'ADK non permette di ripristinare la connessione una volta chiusa senza riavviare l'app. Per questa volta quindi andremo contro la “best practice” e lasceremo la connessione sempre attiva ma non mancheremo di causare un “graceful shutdown” al modulo che gestisce la comunicazione in modo che non consumi risorse inutilmente.

La classe *UpdateDirections*

Questa classe è un “singleton”¹ e si occupa di mostrare all'utente tramite immagini e testi quello che il robot sta facendo o quale sarà la sua prossima

¹E' un design pattern descritto dalla cosiddetta “Gang of four” nel libro “Design Patterns”. Permette la creazione di una sola istanza della classe e ne regola l'accesso.

mossa. Dovendo agire sull'UI² deve essere eseguita sul thread che si occupa dell'UI, per questo implementa l'interfaccia *Runnable* e ogni sua esecuzione è lanciata tramite *runOnUiThread()*. Le informazioni visualizzabili sono limitate e ben distinte, ad ognuna corrisponde un metodo da invocare per visualizzare quella data informazione a schermo. I metodi disponibili sono: *left()*, *right()*, *aimed()*, *search()*, *found()*, *show()*, *hide()*, *chooseColor()*, *avoidingLeft()*, *avoidingRight()*, *lock()*, *unlock()*.

4.2 Arduino

n

²User Interface, interfaccia utente

Conclusioni e sviluppi futuri

Bibliografia

- [1] Marco Ambroglio. Ray Tracing GPU-based - http://www.unibg.it/dati/corsi/38001/45691-lezione_06052011_optix.pdf

Elenco delle immagini

1.1	Immagine visibile su una TV meccanica del 1925	3
1.2	Due sensori moderni. A sinistra un sensore CMOS a destra uno CCD	4
1.3	Drone della società statunitense Amazon. Consegnerà pro- dotti a domicilio in completa autonomia	6
2.1	Schema piedinatura UDOO	9
2.2	Circuito di interfaccia tra Arduino DUE e il sensore QRD1114	11
2.3	Risposta del sensore rispetto alla posizione dell'ostacolo . . .	13
2.4	Schema generico del partitore di tensione	15
2.5	Circuito di interfaccia tra Arduino DUE e il sensore HC-SR04	16

Appendice