

Uno specchio intelligente per la stima dei parametri cardiovascolari

Vincenzo Pasquadibisceglie, Gianluca Zaza, Giovanna Castellano
Dipartimento di Informatica, Università degli Studi di Bari Aldo Moro
[vincenzo.pasquadibisceglie, gianluca.zaza, giovanna.castellano]@uniba.it

Abstract

I metodi convenzionali per la misurazione dei parametri cardiovascolari utilizzano tecniche di contatto con la pelle. Per evitare il disagio dei dispositivi a contatto, sono state recentemente introdotte soluzioni basate su videocamera, che tuttavia sono costose e difficili da utilizzare quotidianamente a casa. Il presente lavoro propone una soluzione innovativa per misurare i parametri vitali attraverso un dispositivo senza contatto, economico e facilmente integrabile in ambienti domestici. Si tratta di uno specchio trasparente dotato di una videocamera che cattura l'immagine del volto e la elabora mediante algoritmi di Intelligenza Artificiale, fornendo una stima in tempo reale del battito cardiaco e della saturazione di ossigeno nel sangue. Il sistema è stato confrontato con un dispositivo da contatto standard, fornendo risultati attendibili in accordo con la letteratura esistente.

1 Introduzione

I metodi convenzionali per la misurazione dei parametri cardiovascolari come l'ECG necessitano che i dispositivi di misurazione siano indossati dal paziente. I dispositivi ottici come il pulsossimetro e altre sorgenti luminose dedicate (ad es. luce rossa e/o infrarossa), pur essendo meno invasivi dell'ECG richiedono ancora il contatto diretto con la pelle e possono quindi causare disagio. Per questo motivo, negli ultimi anni si sono diffuse nuove soluzioni hardware e software che consentono il monitoraggio senza contatto dei principali parametri vitali, come la frequenza cardiaca e la saturazione di ossigeno nel sangue, sfruttando tecniche di elaborazione di immagini acquisite da videocamera [Rouast *et al.*, 2016], [Hassan *et al.*, 2017]. Queste soluzioni, benché efficaci, sono tuttavia difficili da utilizzare in scenari domestici, poiché richiedono dispositivi costosi o ingombranti, impedendone così l'adozione su larga scala nell'assistenza sanitaria personale. Al contrario, vi è la necessità di soluzioni di monitoraggio a basso costo, accurate e facilmente utilizzabili in ambienti domestici o ambulatoriali.

In questo lavoro proponiamo una soluzione innovativa per il monitoraggio dei parametri cardiovascolari che può essere facilmente integrata in ambienti domestici. Si tratta di uno

specchio dotato di una videocamera che, rilevando il volto della persona ed elaborando i fotogrammi video, è in grado di stimare la frequenza cardiaca e la saturazione di ossigeno nel sangue.

2 La soluzione proposta

Il sistema proposto è un dispositivo intelligente a basso costo composto da uno specchio trasparente dotato di una telecamera che cattura i fotogrammi video del volto della persona (fig. 1). Per garantire una buona illuminazione durante la fase di acquisizione, la pellicola a specchio è dotata di una cornice in legno con due strisce di luci a LED bianchi sul lato destro e sinistro. Un'architettura client/server completa l'infrastruttura HW del sistema. Il client è una scheda Raspberry pi dotata di CPU Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit, 4 porte USB, 1GB di RAM, Micro SD (per l'avvio del sistema operativo e la memorizzazione dei dati). Il client invia i frame al server che li elabora per eseguire l'analisi del segnale. Nella attuale versione prototipale del sistema, il server è un computer desktop dotato di CPU Intel(R) Core(TM) i5-5200 2.20GHz 64 bit, 4GB RAM e 500GB hard disk.

La metodologia sottostante combina diversi metodi di Intelligenza Artificiale per rilevare e tracciare il volto nei fotogrammi catturati. Algoritmi di elaborazione del segnale vengono poi applicati ad una regione della fronte per fornire una stima in tempo reale della frequenza cardiaca e della saturazione di ossigeno nel sangue. Precisamente si utilizzano tecniche per l'elaborazione del segnale fotoplethysmografico (PPG) [Verkruyse *et al.*, 2008]. In pratica il sistema

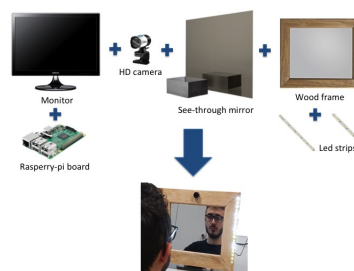


Figura 1: Dispositivi low-cost assemblati per ottenere lo specchio intelligente.

rileva le variazioni del flusso sanguigno (e quindi il battito cardiaco) raccogliendo il segnale fotopletimografico riflesso (con le fluttuazioni basate sulla quantità di luce riflessa) e le variazioni volumetriche dei vasi sanguigni.

L'architettura software del sistema include un modulo back-end e un modulo front-end. Il modulo front-end acquisisce i fotogrammi video attraverso una telecamera e li invia al modulo back-end. Il modulo back-end esegue un face tracker sui fotogrammi video e localizza la regione di interesse (ROI) utile per stimare i segni vitali.

Per rilevare il volto all'interno dei fotogrammi video abbiamo utilizzato il face detector frontale disponibile con la libreria Dlib (dlib.net). Data la regione facciale identificata dal face detector, si localizza la ROI corrispondente ad una regione della fronte con un elevato passaggio di sangue, in modo da permettere la misurazione dei segni vitali per mezzo di PPG. La ROI è separata nei tre canali RGB e viene fatta una media spaziale dei pixel per ottenere un valore di misurazione rosso, blu e verde per ogni fotogramma. Questi valori sono elaborati in modo da ricavare un segnale PPG. Poiché questo segnale può essere facilmente corrotto da rumore dovuto al movimento [Kranjec *et al.*, 2014], è applicata una fase di filtraggio [Tarvainen *et al.*, 2002] per migliorare il segnale.

Per stimare i valori di frequenza cardiaca e saturazione di ossigeno è applicata la tecnica ICA (Independent Component Analysis) [Poh *et al.*, 2010] per scoprire i segnali di sorgenti indipendenti a partire dal segnale multivariato (es. canale del colore). Successivamente, viene applicata un'analisi spettrale dei componenti basata su FFT per rappresentare la distribuzione della potenza del segnale stesso e selezionare la componente che contiene il segnale più forte. Sulla base di questo segnale si ottiene una stima dei valori di frequenza cardiaca e saturazione di ossigeno. Tali valori sono infine inviati in formato JSON al modulo front-end che li mostra graficamente all'utente attraverso lo specchio.

3 Risultati sperimentali

Per testare l'efficienza dello specchio abbiamo effettuato una sperimentazione preliminare che ha coinvolto 25 partecipanti (19 uomini e 6 donne) di età compresa tra 18 e 65 anni con differenti colori della pelle (Africani e Caucasic). Durante i test, è stato chiesto a ciascun soggetto di indossare un pulsossimetro da dito, al fine di raccogliere simultaneamente valori di riferimento relativi a battito cardiaco (HR) e saturazione di ossigeno (SpO₂) da confrontare con i valori acquisiti attraverso il nostro specchio.

I grafici in figura 2 indicano gli errori assoluti calcolati sui valori medi di HR rilevati attraverso il nostro sistema e attraverso il pulsossimetro. Si può notare che l'errore assoluto di HR è risultato minore di 5 bpm in 20 casi, e maggiore in soli 5 casi, ottenendo un errore medio assoluto di 2.87 bpm. Per quanto riguarda i valori di SpO₂, l'errore assoluto è risultato minore del 3% in 20 casi, mentre più alti nei restanti 5 casi, ottenendo un errore medio assoluto di 1.54. In generale, i casi con un alto valore di errore sono dovuti ad eventi inaspettati durante i test, quali movimenti improvvisi della testa o errate posizioni di fronte allo specchio.

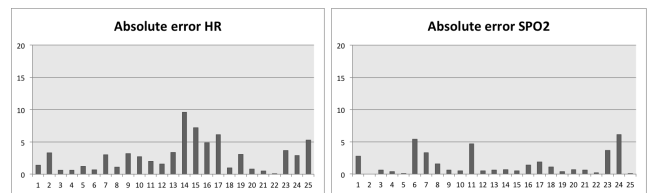


Figura 2: Errore assoluto calcolato comparando le misure ottenute dallo specchio con quelle del pulsossimetro.

Questi risultati preliminari ci consentono di concludere che, rispetto ad un dispositivo a contatto per la misurazione di parametri vitali su soggetti fermi o in lieve movimento, la nostra soluzione raggiunge errori di misurazione che, secondo la letteratura esistente [Poh *et al.*, 2010], rientrano entro margini accettabili.

4 Conclusioni

Caratteristiche peculiari della soluzione proposta sono i costi contenuti, l'inclusività e l'usabilità. Grazie allo specchio intelligente, è possibile infatti monitorare i propri parametri vitali in casa in tutta comodità, senza necessità di altri dispositivi medici, che spesso risultano invasivi, ingombranti o costosi. Il sistema proposto può essere integrato efficacemente in un ambiente di assistenza domiciliare, fornendo una diagnosi tempestiva che migliorerebbe le aspettative di vita di persone affette da problemi cardiovascolari. Per questa ragione stiamo lavorando per arricchire il sistema con una componente diagnostica in grado di elaborare i parametri vitali misurati attraverso lo specchio per fornire una stima del rischio di possibili malattie cardiovascolari.

Riferimenti bibliografici

- [Hassan *et al.*, 2017] M.A. Hassan, A.S. Malik, D. Fofi, N. Saad, B. Karasfi, Y.S. Ali, e F. Meriaudeau. Heart rate estimation using facial video: a review. *Biomedical Signal Processing and Control*, 38:346–360, 2017.
- [Kranjec *et al.*, 2014] J. Kranjec, S. Beguš, G. Geršak, e J. Drnovšek. Non-contact heart rate and heart rate variability measurements: A review. *Biomedical Signal Processing and Control*, 13:102–112, 2014.
- [Poh *et al.*, 2010] M.-Z. Poh, D.J. McDuff, e R.W. Picard. Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation. *Optics express*, 18(10):10762–10774, 2010.
- [Rouast *et al.*, 2016] PV Rouast, MTP Adam, R Chiong, D Cornforth, e E Lux. Remote heart rate measurement using low-cost rgb face video: a technical literature review. *Frontiers of Computer Science*, pages 1–15, 2016.
- [Tarvainen *et al.*, 2002] M.P. Tarvainen, P.O. Ranta-Aho, e P.A. Karjalainen. An advanced detrending method with application to hrv analysis. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 49(2):172–175, 2002.
- [Verkrusse *et al.*, 2008] W. Verkrusse, L.O. Svaasand, e J.S. Nelson. Remote plethysmographic imaging using ambient light. *Optics express*, 16:21434–21445, 2008.