

WEARABLE COMPUTING AL SERVIZIO DELLA SCHERMA: UN SISTEMA VIBROTATTILE PER COMPENSARE L'INFORMAZIONE ACUSTICA ALLO SCHERMIDORE SORDO.

Stefano Delle Monache (1,2), Federico Avanzini (2)

1) Dip. Culture del Progetto - Università IUAV di Venezia, Venezia

2) Dip. Ingegneria dell'Informazione – Università degli studi di Padova, Padova

1. Introduzione

Negli sport di combattimento come la scherma, la prontezza di selezione delle informazioni visive, tattili e uditive contribuisce in maniera decisiva allo sviluppo di bassi tempi di reazione, all'elaborazione dei processi decisionali e strategie vincenti. Lo sport della scherma è una combinazione di svariati fattori, tra cui la “scelta di tempo” (timing), la “misura”, ossia la percezione della distanza, e la velocità d'esecuzione dei movimenti, riassumibili nell'espressione gergale “sentire il ferro”. Tuttavia, nella scherma moderna, l'allenamento e lo sviluppo delle capacità motorie sono mediate e vincolate dalla presenza del sistema elettronico di rilevamento e segnalazione delle stoccate. In particolare, per quanto riguarda la formazione dei principianti schermidori sordi, la configurazione tipica della pedana di combattimento produce un display audiovisivo oneroso dal punto di vista cognitivo e dell'efficacia dei processi decisionali degli atleti. In questo articolo presentiamo un sistema interattivo per segnalare le stoccate e le comunicazioni del direttore di gara a schermidori sordi. Il sistema include un modulo con funzione di interprete dei segnali del tabellone segnapunti, e due polsieri vibrotattili indossate dagli atleti sul polso della mano non armata. Il sistema di interazione, in corso di sviluppo e valutazione, è il prodotto del progetto “Scherma senza Frontiere”, condotto in collaborazione con la scuola di scherma A.S. Comini 1885 e l'Istituto Statale di Istruzione Specializzata per Sordi - I.S.I.S.S Magarotto, entrambe di Padova.

Il contributo è organizzato come segue: questa sezione riassume gli aspetti percettivi più salienti dello sport della scherma al fine di contestualizzare le difficoltà incontrate dagli schermidori sordi e individuare il problema da un punto di vista progettuale; la Sezione 2 analizza i sistemi vibrotattili per lo sport e il display dell'informazione; la Sezione 3 descrive il sistema di interazione in termini di design, sviluppo e prototipazione, e lo stato attuale della valutazione; la sezione conclusiva illustra le nostre conclusioni e possibili futuri sviluppi del progetto.

1.1 Vista, tatto e udito nel loop percezione-azione schermistica

Come per ogni attività umana, ci sono sport che tendono a sollecitare maggiormente uno o più canali sensoriali. Nella scherma, la stimolazione acustico-tattile oltre a quella visiva gioca un importante ruolo, riassumibile nell'espressione gergale del "sentire il ferro" definita sopra. Le modalità con cui stimoli esterni vengono integrati nel loop percezione-azione incidono sull'efficacia dell'assalto, sia dal punto di vista della tecnica che della strategia. Gli schermidori esperti utilizzano per lo più strategie basate sulla visione centrale e riconoscimento di pattern di gioco, rendendo così più economica la percezione visiva. Al contrario, gli schermidori principianti fanno largo uso della visione periferica, elaborando molte più informazioni prima di poter programmare una risposta motoria [1]. Le conseguenze, da un punto di vista tattico-cognitivo, sono l'impiego di un numero significativamente più alto di avanzate e ritirate, finte e controfinte, da parte di schermidori esperti [2].

Oltre alla precisione del movimento, il tempo di risposta è un indicatore importante per la valutazione del comportamento motorio [3]. Uno studio su 12 schermidori professionisti e 12 soggetti sedentari ha mostrato che in condizione di riposo i tempi di reazione dei due gruppi sono simili. Al contrario, l'esercizio aerobico migliora la capacità d'attenzione negli schermidori, abituati ad elaborare informazioni in condizioni fisiche simili, ma non nei soggetti sedentari [4]. Torun e colleghi hanno valutato gli effetti di un training di base di 8 settimane sui tempi di reazione in due gruppi di allievi principianti [5]. Il primo gruppo (BFG) ha seguito un programma di introduzione alla scherma, finalizzato ad apprendere 8 movimenti di base. Il secondo gruppo (VG) ha seguito un programma specifico di training della velocità dell'attività motoria. I tempi di risposta sono stati misurati all'inizio e alla fine del periodo di training, attraverso task di affondo. Gli autori hanno rilevato una riduzione significativa dei tempi di reazione sia per le estremità inferiori che superiori nel gruppo VG, e una riduzione significativa del tempo di risposta motoria per le estremità superiori nel gruppo BFG, concludendo per la necessità di integrare in maniera sistematica i due programmi di lavoro.

1.2 Meccanismi di anticipazione motoria nella scherma

Nella maggior parte delle attività quotidiane, come nello sport, gli esseri umani mettono in atto strategie volte a percepire le intenzioni degli altri e ad anticiparne le mosse. L'abilità di estrarre informazioni visive dalla postura dell'avversario viene studiata mediante tecniche di occlusione spaziale e/o temporale, applicate a porzioni di video che ritraggono il movimento dell'avversario, e rispetto alle quali viene richiesto al soggetto di emettere delle ipotesi. L'idea è che il deterioramento della performance predittiva da parte del soggetto, consequenziale al mascheramento di una particolare informazione temporale o spaziale, individui nella regione mascherata un elemento informativo rilevante. Inoltre, l'uso di tecniche di eye-tracking consente di registrare i pattern di fissazione in task di ricerca visiva di features specifiche. Bard e colleghi hanno studiato il comportamento di 3 gruppi di schermidori, maestri, esperti e novizi [6]. I maestri e gli esperti mostrano fissazioni più brevi e su aree diverse rispetto ai principianti. Hagemann e colleghi hanno combinato occlusione temporale e spaziale per esaminare il contributo del movimento oculare nell'estrazione di informazioni rilevanti [7]. Nel caso di mascheramento dell'arma e del busto dell'avversario, la performance predittiva, soprattutto degli schermidori esperti, degrada in maniera significativa rispetto ad altre condizioni di occlusione. Poiché invece la performance dei principianti non varia significativamente, si ipotizza che gli schermidori esperti traggano importanti informazioni dal movimento del braccio, della lama e dai movimenti del busto.

1.3 Percezione della distanza egocentrica

Il triangolo tempo-misura-velocità descrive le relazioni spazio-temporali che contraddistinguono le qualità indispensabili di uno schermidore. Per tempo si intende sia quello di reazione sia la scelta del tempo connessa ai meccanismi di anticipazione delle mosse dell'avversario. La misura contraddistingue sia la distanza percepita utile tra la punta della lama e il bersaglio, sia la distanza fisica tra i due schermidori. L'informazione relativa alla distanza in profondità viene veicolata anche per via acustica. Lo spazio vicino, anche detto peripersonale [8], si estende nei limiti in cui un target può essere raggiunto. La sua estensione dipende dalle abilità di allungamento piuttosto che dalla distanza assoluta tra oggetto e osservatore. Lo spazio vicino viene rimappato quando l'interazione è mediata dall'utilizzo di uno strumento. Il sistema percettivo umano è sensibile all'estensione dello spazio vicino in termini di reachability (afferrabilità) con la mano o mediante strumento. Questa ipotesi è consistente con l'idea che gli organismi (gli esseri umani) percepiscano il mondo in termini di azioni che intendono compiere [9]. Pertanto, nei meccanismi di anticipazione motoria, come nella situazione tipica di ingaggio ed assalto della scherma, la distanza percepita dall'oggetto osservato è scalata rispetto alle capacità del soggetto di raggiungerlo. Ladavas e colleghi hanno indagato l'esistenza di uno spazio peripersonale uditivo intorno alla testa [10]. Questo integra lo spazio visivo peripersonale nel localizzare oggetti in avvicinamento che per qualche ragione non siano visibili (ad esempio per occlusioni o mancanza di luce), così da preparare un'adeguata risposta motoria. Serino e colleghi hanno studiato lo spazio peripersonale uditivo e l'integrazione audio-tattile dello spazio lontano e vicino (intorno alla mano), quando l'azione è mediata dall'uso di un ausilio (una stecca), in soggetti vedenti e non-vedenti. [11]. Nei primi lo spazio peripersonale uditivo è limitato attorno alla mano, prima dell'uso della stecca, espanso dopo l'utilizzo della stessa e nuovamente contratto dopo un periodo di riposo. Al contrario, nei secondi esso si espande immediatamente quando è impugnata la stecca, risultando però contratto se ad essere impugnato è solo un manico. In particolare, l'esistenza dello spazio peripersonale uditivo intorno alla mano è stato studiato attraverso i tempi di reazione legati alla somministrazione di stimoli uditivo-tattili, la cui componente sonora era presentata all'interno o all'esterno dello spazio "vicino", con o senza l'ausilio della bacchetta. Il dato più interessante è la diversa performance per gli stimoli bimodali in cui la componente sonora (tono puro o rumore bianco) era collocata in prossimità della mano o della punta della bacchetta. Nel caso della scherma, si può ipotizzare che l'espressione "sentire il ferro" identifichi proprio questo spazio peripersonale che si estende dalla testa, alla mano, alla punta dell'arma, e che ha la funzione di prevenire la collisione con oggetti esterni. Se c'è un'informazione veicolata per via acustica di cui gli atleti non-udenti sono deficitari, questa potrebbe essere proprio quella relativa all'integrazione uditivo-tattile del "sentire il ferro".

1.4 Circostrizione del problema: scherma per sordi presso l'A.S. Comini 1885

La ricerca sul campo è stata svolta presso la palestra dell'A.S. Comini 1885. Documentazione audiovisiva degli allenamenti e interviste con i maestri di scherma sono servite a circoscrivere le difficoltà incontrate dagli atleti sordi, in particolare:

1. la difficoltà di comunicazione tra maestri e atleti non-udenti è efficacemente compensata dal metodo di insegnamento adottato, essenzialmente non verbale e basato sulla ripetizione dei gesti e dei movimenti schermistici;

2. il tabellone elettronico segnapunti è solitamente posto a lato della pedana in direzione della linea mediana. Il tabellone emette un segnale acustico (beep) al rilevamento della stoccata e utilizza un codice colori per segnalare l'assegnazione. All'ascolto del beep gli schermidori interrompono l'assalto e volgono lo sguardo al tabellone;
3. il segnale acustico svolge una importante funzione di conferma della stoccata per lo schermidore principiante. Con la pratica, l'atleta acquisisce sicurezza e capacità di maggior concentrazione e di selezione degli elementi di potenziale distrazione;
4. dovendo affidarsi alle sole luci del segnapunti, gli atleti principianti non-udenti sono più soggetti a potenziale distrazione, soprattutto quando il tabellone è ai margini del loro campo visivo. Spesso si fermano, credendo erroneamente di aver incassato o portato a segno una stoccata, oppure continuano l'azione oltre il necessario. Questa è la condizione di maggior disparità rispetto ad atleti normodotati di pari livello.

La pratica della scherma può costituire un valido aiuto nei processi di apprendimento e compensazione durante la fase della crescita dei sordi. Tuttavia, per coinvolgere ragazzi non-udenti sin dalla giovane età bisogna che la loro curva di apprendimento sia simile da quella dei coetanei normodotati. L'ausilio tecnologico di supporto agli schermidori sordi ha quindi la funzione di compensare questo svantaggio di partenza. Peraltro la scherma è uno sport in continua diffusione tra non-udenti, soprattutto negli Stati Uniti e in Australia. Lo schermidore australiano non-udente Frank Bartolillo partecipò alle Olimpiadi di Atene del 2004. In un'intervista l'atleta sostiene di sentirsi avvantaggiato rispetto ad avversari udenti, riuscendo a concentrarsi di più. Un altro caso interessante è quello di David Guardino, non-udente, precedentemente schermidore e attualmente maestro di scherma al club della Boston University.

2. Sistemi vibrotattili per lo sport e il display dell'informazione

Esistono molti dispositivi per monitorare in tempo reale la performance atletica, per supportare mediante feedback multimodali l'apprendimento e la corretta esecuzione dell'azione motoria. Sistemi efficaci di coaching aumentato sono stati sperimentati nel tennis-tavolo [12], il canottaggio, il tiro a segno [13]. Questi dispositivi sono dotati non solo di percezione (sensori magnetici, di prossimità, fotoresistori, accelerometri, giroscopi, GPS), ma anche di capacità espressive. Mediante l'impiego di attuatori, strategie di feedback espressivo possono coinvolgere la visione (schermi, led), l'ascolto (diffusori, auricolari), il tocco (haptics, robot e attuatori vibrotattili), o una loro combinazione. Nello sport agonistico, le ricerche sono concentrate su tre aree di maggior interesse: la performance atletica [14], tempo libero e intrattenimento, l'incidenza dell'uso della tecnologia sulle regole di gioco dei vari sport [15]. Su quest'ultimo punto, sistemi intelligenti non invasivi, anche di supporto alle decisioni arbitrali, sono stati sviluppati per le arti marziali [16], il calcio, il tennis. Al contrario la scherma si è sviluppata in base ai vincoli tecnologici relativi alla configurazione elettrificata della pedana. Questo ha fatto in modo che la competizione tra gli atleti si sia evoluta in maniera lineare, ossia con movimenti di avanzata e ritirata vincolati allo spazio della pedana, e alle caratteristiche del funzionamento delle componenti elettroniche (pressione e tempo minimo del contatto di punta).

In questo contesto, dispositivi interattivi basati su stimolazione tattile sono stati sviluppati per veicolare informazioni e sensazioni. Sistemi di guida assistita basati su feedback aptico sono utilizzati nella riabilitazione motoria [17]. Sistemi vibrotattili di coaching interattivo sono stati sperimentati per il calcio [18], lo snowboarding [19], e la voga [20], per richiamare l'attenzione dell'atleta, indicare la direzione del gioco, o per correggere errori di postura. Strategie per il monitoraggio della performance atletica e

coaching mediante vibrazioni sono state sperimentate nello sci di fondo [21]. Dal punto di vista tecnologico, risorse di calcolo e componenti necessari ad una prototipazione rapida di interfacce vibrotattili sono in continuo aggiornamento (robustezza, autonomia e miniaturizzazione) e disponibili sul mercato. Saba e collaboratori hanno sviluppato un prototipo di sistema vibrotattile senza fili, integrato in due cinture, per consentire a persone non-udenti di scambiare messaggi istantanei di “allerta” o *tactons* [22], e avviare una comunicazione non-verbale di base mediante semplici pattern di vibrazioni [23]. Stanley e Kuchenbecker hanno prototipato e sperimentato un sistema di guida, basato su un set di attuatori indossabili per la riproduzione delle sensazioni fisiche derivanti da varie manipolazioni del polso, quali picchietti, trascinamenti, strette, torsioni [24]. Gli autori riportano l’efficacia del tapper e suggeriscono una serie di applicazioni per il gaming, la realtà virtuale, attività di collaborazione a distanza, telelavoro e teleconferencing.

3. Ricerca e sviluppo della polsiera vibrotattile segnalastoccate

Il design e lo sviluppo del dispositivo di ausilio è stato articolato in tre fasi: 1) analisi dei requisiti funzionali del sistema e realizzazione di un primo dimostratore sperimentale; 2) valutazione del primo dimostratore; 3) affinamento del primo dimostratore e realizzazione di un secondo prototipo più avanzato.

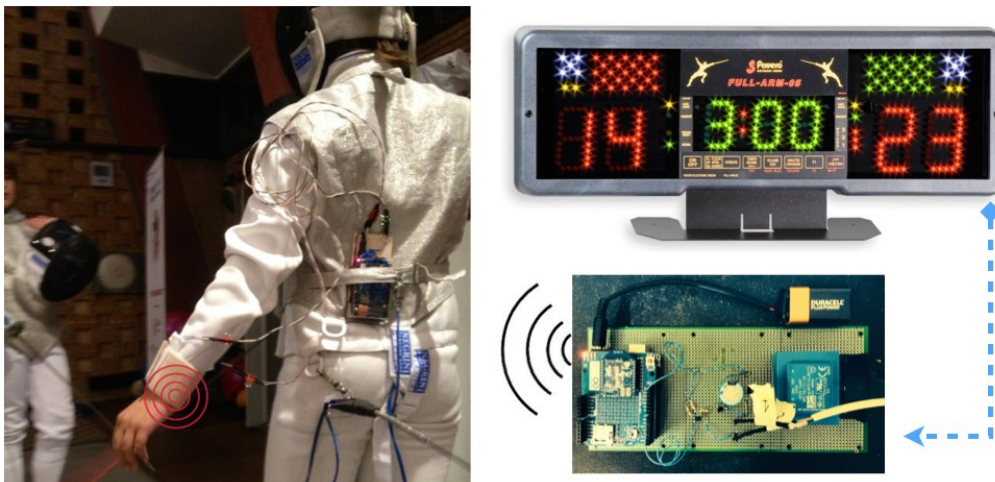


Figura 1: Schema del primo dimostratore

3.1 Analisi dei requisiti funzionali del sistema e realizzazione del dimostratore

Allo studio teorico e osservazione sul campo è seguita la fase di inquadramento dei bisogni degli atleti sordi e dei requisiti del dispositivo di supporto. Dati l’importanza dell’uso della vista nella scherma e gli indizi di disparità di acuità visiva tra giovani sordi e udenti, si è optato per un dispositivo ad interazione vibrotattile, risultante così meno distraente per l’atleta. In particolare, il dispositivo a) deve rendere autonomi gli schermatori sordi nella fase di allenamento, b) non deve risultare ridondante né richiedere un sovraccarico cognitivo per l’elaborazione dell’informazione, c) non deve intralciare l’azione sportiva, e avere un ingombro e intrusività ridotte al minimo; d) deve trasmettere per via tattile l’informazione di *alert* o *warning* relativa all’interruzione dell’assalto con la stessa esattezza ed efficacia del medium acustico.

Date l’estrema sensibilità del polso quale zona del corpo atta a recepire informazioni per via tattile [25, 26] e la disponibilità della mano non armata dello schermatore, si è scelto di optare per la realizzazione di una polsiera aumentata con degli attuatori. In

figura 1, il primo dimostratore realizzato si compone di 1) una scheda microcontrollore (Arduino Uno), con funzione di interprete dei display del tabellone e ad esso collegato, che dialoga via radio (protocollo Xbee2) con una seconda scheda Arduino Uno, indossata dall'atleta; 2) una polsiera a strappo dotata di due attuatori (motori DC Precision Microdrives 312-101), collocati sul lato superiore e inferiore del polso della mano non armata e controllati dalla seconda scheda Arduino Uno, alloggiabile nella tasca posteriore dei pantaloni della tuta. Per questo dimostratore è stato previsto un unico tipo di alert vibrotattile di intensità costante e di 1800 ms di durata, pari a quella del segnale acustico emesso dal tabellone.

3.2 Test del primo dimostratore

Test informali della polsiera segnalastoccata sono stati effettuati con atleti normodotati e sordi, in semplici task di arresto della corsa in presenza di vibrazione percepita, e in situazione standard di assalto in pedana. La bontà ed efficacia del design e del sistema sono state confermate anche da interviste fatte con i ragazzi che hanno provato il dispositivo. La soluzione della polsiera sul polso della mano non armata è risultata comoda ed efficace. Il segnale vibrotattile di durata pari al segnale acustico segnalastoccata è risultato chiaramente percepibile e non invasivo. Il dispositivo è stato accolto con entusiasmo dai ragazzi non-udenti ed è risultato utile anche per i ragazzi normodotati, i quali hanno riportato la sensazione di rivolgere meno lo sguardo al tabellone, soprattutto quando le pedane sono affollate e la sovrapposizione dei segnali acustici crea confusione. Il dispositivo tende a manifestare degli aspetti correttivi, ossia dopo un breve periodo di adattamento, esso sembra ingenerare fiducia in chi lo usa, provocando un adeguamento delle proprie aspettative propriocettive di stoccata.

È stata poi rilevata la necessità di prevedere la segnalazione per via tattile anche del caso di interruzione dell'assalto disposto dall'arbitro e di conseguenza anche di un diverso segnale per comunicarne l'inizio ("in guardia ... pronti ... a voi!"). Dal punto di vista tecnologico, il primo dispositivo è risultato sufficientemente robusto per sopportare le sollecitazioni tipiche di un assalto in pedana.



Figura 2: Il nuovo prototipo

3.3 Affinamento del dimostratore e realizzazione di un prototipo avanzato

La revisione del primo prototipo ha portato alla realizzazione di una seconda versione così congegnata:

- la polsiera è stata sostituita da un guanto con polsiera a strappo in modo da alloggiare sul dorso della mano tutta la circuiteria elettronica miniaturizzata necessaria per la comunicazione via radio col segnapunti e il controllo degli attuatori;
- nuove funzionalità previste includono un segnale vibrotattile di start/stop a discrezione dell'arbitro pilotabile da telecomando collegato al segnapunti;

- la nuova polsiera consente all'atleta di selezionare la propria vibrazione preferita, fra 3 tipologie disponibili.

E' in corso la fase di test dei nuovi segnali in modo da affinare gli aspetti comunicativi e verificare l'efficacia del dispositivo nel favorire una maggior concentrazione dell'atleta durante le fasi di assalto. La figura 2 mostra il nuovo prototipo.

4. Conclusioni e sviluppi futuri

La nuova versione del prototipo del sistema verrà mostrata al pubblico il giorno 7 maggio 2014 in occasione della presentazione ufficiale dei risultati del progetto "Schermata senza Frontiere", in collaborazione con la scuola di scherma A.S. Comini 1885 e l'Istituto Statale di Istruzione Specializzata per Sordi - I.S.I.S.S Magarotto.

Dal punto di vista tecnologico, i principali sviluppi del progetto si focalizzeranno sull'ingegnerizzazione del prototipo, con l'obiettivo di ottenere una miniaturizzazione più spinta e una conseguente diminuzione di peso e ingombro della polsiera. Al contempo, la fase di ingnerizzazione sarà finalizzata a ottimizzare i costi dei componenti, al fine di prevedere la produzione di un più ampio numero di esemplari.

Dal punto di vista della valutazione del prototipo, ci si concentrerà principalmente su due aspetti:

1. identificazione e riconoscimento dei segnali vibrotattili di start/stop (pilotabile da telecomando a discrezione dell'arbitro) e delle loro variazioni;
2. valutazione nel medio e lungo periodo dei meccanismi e tempi di apprendimento legati all'esposizione e uso prolungato del guanto/polsiera segnalastoccata.

Per quanto riguarda il secondo punto in particolare, l'obiettivo è affinare gli aspetti comunicativi del device e verificare l'efficacia del dispositivo nel favorire una maggior concentrazione dell'atleta durante le fasi di assalto.

5. Bibliografia

- [1] B. Abernethy. Training the visual-perceptual skills of athletes: Insights from the study of motor expertise. *Am. J. of sports medicine*, 24(6):89–92, 1996.
- [2] G. S. Roi and D. Bianchedi. The science of fencing. *Sports Medicine*, 38(6):465–481, 2008.
- [3] A. R. Jensen. *Clocking the mind: Mental chronometry and individual differences*. Elsevier Science, 2006.
- [4] S. Mouelhi Guizani, I. Bouzaouach, G. Tenenbaum, A. Ben Kheder, Y. Feki, and M. Bouaziz. Simple and choice reaction times under varying levels of physical load in high skilled fencers. *J. of sports medicine and physical fitness*, 46(2):344–351, 2006.
- [5] V. Torun, G. Ince, and B. Durgun. The effects of basic fencing studies and velocity training on reaction time in the 9–12 year-old beginners in fencing. *Sport Science*, 5(1):59–66, 2012.
- [6] C. Bard, Y. Guezennec, and J. P. Papin. *escrime: analyse de l'exploration visuelle*. *Mèdecine du Sport*, 55:246–253, 1981.
- [7] N. Hagemann and B. Strauss. Perceptual expertise in badminton played. *Zeitschrift für Psychologie*, 214:37–47, 2006.
- [8] E. Làdavas. Functional and dynamic properties of visual peripersonal space. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(1):17–22, 2002.

- [9] J. K. Witt, D. R. Proffitt, W. Epstein, et al. Tool use affects perceived distance, but only when you intend to use it. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 31(5):880–887, 2005.
- [10] E. Ladavas, F. Pavani, and A. Farne. Auditory peripersonal space in humans: a case of auditory- tactile extinction. *Neurocase*, 7(2):97–103, 2001.
- [11] A. Serino, M. Bassolino, A. Farnè, and E. Làdavvas. Extended multisensory space in blind cane users. *Psychological science*, 18(7):642–648, 2007.
- [12] J. Hey and S. Carter. Perfect practice makes perfect: The memory tennis accuracy feedback system. *IEEE Pervasive Computing*, 4(3):54, 2005.
- [13] A. Baca and P. Kornfeind. Mobile coaching in sports. Bardram JE et al. *Ubi-Comp 2007. Adjunct Proceedings. Innsbruck*, pages 172–179, 2007.
- [14] D. G. Liebermann, L. Katz, M. D. Hughes, R. M. Bartlett, J. McClements, and I. M. Franks. Advances in the application of information technology to sport performance. *J. of Sports Sciences*, 20(10):755–769, 2002.
- [15] E. H. Chi, G. Borriello, G. Hunt, and N. Davies. Guest editors’ introduction: Pervasive computing in sports technologies. *IEEE Pervasive Computing*, 4(3):22–25, 2005.
- [16] E. H. Chi, J. Song, and G. Corbin. Killer app of wearable computing: wireless force sensing body protectors for martial arts. In *Proc. 17th annual ACM Symp. on User interface software and technology*, pages 277–285, 2004.
- [17] A. Alahakone and S. A. Senanayake. Vibrotactile feedback systems: Current trends in rehabilitation, sports and information display. In *Proc. IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics*, pages 1148–1153, 2009.
- [18] S. Kalisvaart, E. G. Lechner, and F. Lefeber. System for monitoring and coaching of sportsmen. In *Ambient Intelligence*, pages 88–91. Springer, 2004.
- [19] M. Jacobs. Design and recognition of tactile feedback patterns for snowboarding. PhD Thesis. RWTH Aachen University, 2008.
- [20] J. B. Van Erp, I. Saturday, and C. Jansen. Application of tactile displays in sports: where to, how and when to move. In *Proc. Eurohaptics Int. Conf.*, 2006.
- [21] S. Nylander and J. Tholander. Tactile feedback in real life sports: a pilot study from cross-country skiing. In *Proc.. 7th Int. Workshop on Haptic and Audio Interaction Design*, page 35, 2012.
- [22] S. Brewster and L. M. Brown. Tactons: structured tactile messages for non-visual information display. In *Proc. 5th Conf. on Australasian user interface-Volume 28*, pages 15–23. Australian Computer Society, Inc., 2004.
- [23] M. P. Saba, D. Filippo, F. R. Pereira, and P. L. P. De Souza. Hey yaa: a haptic warning wearable to support deaf people communication. In *Collaboration and Technology*, pages 215–223. Springer, 2011.
- [24] A. A. Stanley and K. J. Kuchenbecker. Design of body-grounded tactile actuators for playback of human physical contact. In *World Haptics Conf.*, pages 563–568, 2011.
- [25] Matscheko, M., Ferscha, A., Riener, A., & Lehner, M. (2010, October). Tactor placement in wrist worn wearables. In *Int. Symp. on Wearable Computers*, pages 1-8, 2010.
- [26] Lee, S. C., & Starner, T. BuzzWear: alert perception in wearable tactile displays on the wrist. In *Proc. SIGCHI Conf. on Human factors in computing systems*, pages 433-442, 2010.