

Modellazione cognitiva di Mode Confusion in task di Standard Operating Procedure collaborative life-critical

Nicholas Caporusso^{1,2} (corresponding author)
¹IMT – Institutions, Markets, Technologies
Piazza S. Ponziano, 6 - 55100 Lucca, Italy
n.caporusso@qiris.org

Irene Lasorsa²
²QIRIS – Quality Innovation Research Instruction Safety
Via Sant’Alessandro, 685 - 21042 Caronno P. (Va), Italy
i.lasorsa@qiris.org

Abstract

Nel Mode Confusion (MC) il modello mentale dell’attore umano e il comportamento del sistema divergono, generando le cosiddette Automation Surprise (AS). Queste possono causare eventi avversi gravi. In questo lavoro, introduciamo un modello per lo studio di task collaborative life-critical e per valutare il cognitive load in attività collettive.

1. Mode Confusion e Automation Surprises

Nell’interazione uomo-macchina, per MC si intende lo stato in cui il modello mentale dell’attore umano e il comportamento del sistema divergono

[1] a causa di fattori che possono dipendere dalla macchina (ad esempio, assenza o incoerenza del feedback) e dall'utente (conoscenza subottimale della modalità operativa, comportamento deliberatamente errato). Il MC può portare al verificarsi di AS: eventi non previsti durante la progettazione del sistema e in fase di pianificazione delle azioni ammissibili. Di conseguenza, le dinamiche dell'interazione anziché deterministiche (in termini di task), possono diventare caotiche. Il rischio associato alle AS è rilevante, perché se da una parte la probabilità che si verifichino incidenti è relativamente bassa, dall'altra possono portare a eventi avversi estremamente gravi [2].

2. Automation Surprises in processi collaborativi e contesti life-critical

Le AS non si limitano all'interazione con macchinari o dispositivi elettronici, ma sono innanzitutto un problema cognitivo in sistemi con un certo livello di automazione, ivi inclusi i processi basati sulla collaborazione. Infatti, laddove gli attori sono molteplici, è necessaria un'orchestrazione di risorse e azioni, generalmente demandata alla capacità umana di autocorrezione basata sulla negoziazione tra individui. È fondamentale progettare le attività con l'obiettivo di minimizzare MC e AS in modo da ridurre gli eventi avversi, soprattutto in situazioni life-critical in cui sussistono processi paralleli che non hanno la possibilità di sincronizzarsi. Nell'ultimo decennio si sta diffondendo un approccio all'Hospital Risk Management (HRM) mutuato dalle best practices maturate e consolidate nell'aviazione [3]. Uno degli obiettivi di qualità definiti dalle organizzazioni internazionali di HRM è l'introduzione di Standard Operating Procedures (SOP) [4]. Le attività di numerose aziende ospedaliere sono descritte in SOP mediante un linguaggio più o meno formale. In linea di massima, tale descrizione prende in considerazione le modalità di svolgimento delle task, tralasciando fattori cognitivi che possono influenzarne l'apprendimento e l'esecuzione. Nonostante le SOP coinvolgano attori caratterizzati da un comportamento complesso, generalmente l'analisi che sottende la definizione di una SOP è limitata ai meri aspetti organizzativi, tralasciando la valutazione formale (dal punto di vista dei processi cognitivi distribuiti) delle interazioni tra i sistemi coinvolti. Il Calculus of Communicating Systems (CCS) è stato integrato al Communicating Sequential Processes (CSP) nel CCSP [5], che permette di confrontare le dinamiche di processi.

3. Studio del Cognitive Load e del Mode Confusion in SOP sanitarie

In questo lavoro, presentiamo un modello per l'analisi di task collaborative life-critical integrando metodi formali e metriche di complessità al fine di garantire che: la descrizione delle attività elementari e della task sia comprensibile e non generi overhead cognitivo negli attori; le SOP abbiano consistenza interna e si integrino coerentemente nel sistema; l'esecuzione delle attività mediante l'interazione tra i differenti attori coinvolti non generi MC. Per il presente lavoro sono state acquisite e analizzate 1159 SOP relative a 38 unità operative di un ospedale di Singapore accreditato Joint Commission International. Le procedure sono state formalizzate utilizzando TAPAS [5], un tool per il model checking di sistemi concorrenti che consente di descrivere i processi secondo l'algebra CCSP e di rappresentarli sotto forma di Labeled Transition Systems (LTS). Durante la fase iniziale, le SOP sono state implementate in TAPAS utilizzando l'algebra CCSP per: formalizzarne i processi (p), rappresentati come transizioni (a) tra stati (n); specificarne gli attori coinvolti, modellati come sistemi (S); definirne le interazioni. Il cognitive load (cl) di ciascuna procedura è stato calcolato come la somma della complessità di ciascuna delle sue istruzioni elementari. A tal fine, abbiamo utilizzato la seguente metrica, che integra una misura della complessità ciclomatica e un indice di leggibilità ispirato dal Dale-Chall Readability Index [6]:

$$cl(SOP) = s \sum_p \left(\pi_a w_a + c \prod_{i=1}^m (w_a - S_i^{w_a}) \right) \quad (1)$$

dove $\pi_a = \{1, 2, \dots, k\}$ rappresenta il livello (profondità) del predicato, definito da McCabe come il numero di operazioni condizionali (decisioni) effettuate per poter realizzare l'attività a . La prima parte della formula (1) è una misura di complessità ciclomatica, dove la componente w_a identifica il numero di termini che compongono la singola istruzione a . La seconda parte della formula prende in considerazione il numero m di attori (S) coinvolti nelle singole task a . A ognuno dei sistemi che interagiscono corrisponde un vocabolario che contiene i termini che fanno parte del dominio di conoscenza di S . Il valore $S_i^{w_a}$ identifica il numero termini di a che sono noti a S_i . Pertanto, il valore all'interno della seconda componente identifica il grado di familiarità di ciascun attore con ciascuna attività atomica dell'istruzione operativa. Nel calcolo del cognitive load, viene riportata la mancata conoscenza del dominio, per rappresentare l'impatto dell'overhead prodotto da ciascuna attività elementare sulle interazioni tra i singoli operatori. Il fattore di correzione s è stato posto uguale a 0.005, mentre c è stato imposto 0.05. Sia c che s sono invarianti. Dalla formula (1) consegue che una SOP ha minore cognitive load quando i processi coinvolgono un numero ridotto di

attori, vengono utilizzati in maggioranza termini condivisi da tutti gli operatori, o contiene un numero limitato di decisioni, effettuate da pochi attori. Abbiamo stimato che per un trade-off tra complessità di ciascuna SOP e numero di istruzioni operative necessarie per descrivere tutte le attività, i valori di cognitive load inferiori a 0.99 possono essere considerati accettabili e quelle superiori ottimizzabili. A tal fine è possibile effettuare un ranking della complessità dei processi e delle attività e produrre nuove versioni per ridurne l'overhead. Ad esempio, l'istruzione "document all parameters reading and nursing care rendered in DDI nurses progress notes" può essere semplificata in "record patient's parameters in DDI notes". Il criterio della bisimulazione consente di controllare la conformità dell'implementazione di un sistema rispetto alla relativa specifica e può essere utilizzato per verificare la consistenza di ciascuna nuova versione con l'originale. L'integrazione di una metrica di complessità e di un indice di leggibilità permette di sfruttare LTS per analizzare il cognitive overhead, indipendentemente dalla formula utilizzata. La consistenza di ciascun processo è stata valutata unitamente all'eventuale insorgenza di MC. Infine, TAPAS consente di effettuare model checking mediante la simulazione dei processi concorrenti p eseguiti da ciascun sistema S coinvolto nelle procedure. Ad ogni stato, è possibile controllare quali sistemi sono attivi e quali task possono essere realizzate. In questo modo, si prendono in considerazione tutte le circostanze possibili di interazione, grazie alla valutazione delle dinamiche cognitive alla base della collaborazione tra gli operatori. La rilevazione di MC mediante model checking è automatica: per ogni stato n , si valuta la possibilità che ciascun operatore S_i possa eseguire un'attività $p(n, S_i, a)$ dall'elenco di processi ammissibili e, allo stesso tempo, che S_i non possa eseguire un processo dall'insieme di processi non ammissibili $\neg p(n, S_i, a)$. La simulazione, oltre a una serie di inconsistenze interne ed esterne nelle SOP, ha permesso di riscontrare tipici deadlock (e.g., situazioni in cui la sala operatoria attende l'arrivo di un paziente dal reparto, che a sua volta attende di ricevere istruzioni dalla sala operatoria). Infine, abbiamo riscontrato che una delle cause più frequenti di AS riguarda le SOP che contengono istruzioni per la gestione della cartella clinica: il MC è favorito dalla scarsa comunicazione tra gli operatori che realizzano attività in parallelo, dalla presenza di ambiguità nella descrizione delle istruzioni operative, dalle duplicazioni di informazioni inconsistenti, o da una mappatura non idonea del processo.

4. Discussione e conclusioni

Il presente studio riguarda l'applicazione di metodi formali per la valutazione di un modello delle dinamiche cognitive alla base dell'interazione di attori multipli che partecipano a processi concorrenti automatizzati, attraverso l'analisi e la formalizzazione di istruzioni operative in task collaborative e life-critical. Sono state revisionate 867 procedure, di cui è stata prodotta una nuova versione (equivalente all'originale nel 45% dei casi) con un indice di cognitive load più basso, grazie all'applicazione integrata di una metrica di complessità (tipica del dominio dello sviluppo software) e di un indice di leggibilità. Inoltre, applicando tecniche di model checking alle SOP descritte mediante process algebra CCSP, su 293 procedure abbiamo identificato 615 inconsistenze, che in 78 casi portavano alla generazione di MC. In 71 casi, mediante la revisione di alcuni processi descritti nella SOP, è stato possibile prevenire eventuali AS. In 7 casi è stato necessario modificare sensibilmente la SOP. Il presente studio presenta i vantaggi e i limiti tipici delle analisi puramente sintattiche. Nonostante l'impossibilità di indagare appieno le dinamiche cognitive che si instaurano in attività collettive, la verifica di un modello formale della complessità di processi paralleli e collettivi permette, mediante tecniche di simulazione, di esplorare circostanze rare e ad alto rischio e di controllare l'interazione tra i sistemi in situazioni altrimenti difficilmente riproducibili.

References

1. R. W. Butler, S. P. Miller, J. N. Potts, and V. A. Carreño. A Formal Methods Approach to the Analysis of Mode Confusion. In 17th AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference (1998)
2. L. C. Chen, J.Y. Fan. Disaster and disaster nursing: from an education and research perspective. *Hu Li Za Zhi*, 57, 3:11-6 (2010)
3. C. E. Schmidt, F. Hardt, J. Möller, B. Malchow, K. Schmidt, M. Bauer. Improvement of team competence in the operating room: Training programs from aviation. In *Anaesthesist*, 59, 8:717-22, 724-6 (2010)
4. Joint Commission International. JCI Accreditation Standards for Hospitals. Joint Commission Resources, 4th Edition, 978-1-59940-434-9 (2010)
5. F. Calzolari, R. De Nicola, M. Loreti, F. Tiezzi. TAPAs: a Tool for the Analysis of Process Algebras. In *Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency (ToPNoC) Special Issue*, Springer-Verlag, pages 54-70 (2008)
6. W. Kintsch. *Comprehension: A paradigm of cognition*. Cambridge University Press, New York (1998)