

Studio di un Automa a Stati Finiti per l'implementazione di un agente del gioco del calcio

Alessandro Costella

Università degli Studi di Milano

Abstract

Gli Automi a Stati Finiti sono una delle più longeve soluzioni nel campo dell'informatica teorica e, nello specifico, dell'intelligenza artificiale. Si tratta infatti di strutture che, grazie alla loro semplicità, offrono applicabilità a un'innunerevole quantitativo di situazioni e problemi. In campo videoludico è proprio questa loro semplicità a esserne una caratteristica significativa e a renderle uno strumento molto popolare. Questo documento presenta la progettazione di un agente preposto a "simulare" un giocatore di calcio tramite l'uso di una FSM.

Introduzione

In questo documento è presentata un'Intelligenza Artificiale multiruolo, ossia non vincolata a una specifica posizione all'interno del campo. L'agente svolge quindi parimenti azioni in attacco e azioni in difesa, rinforzando le linee della propria squadra man mano che una situazione si preserva nel tempo. A ispirare il lavoro e questa decisione sono state le intelligenze artificiali degli automi preposti al gioco del calcio competitivo tra le facoltà di Ingegneria dell'Automazione, squisiti esempi di agenti artificiali autonomi dai comportamenti semplici ma molteplici ed efficaci, pensati proprio per finalità ludiche. Il presente documento si suddividerà in una prima parte di analisi dell'Automa nelle sue componenti suddivise e una seconda parte di sintesi della macchina nella sua interezza e delle situazioni che essa gestisce.

L'Automa a Stati Finiti

Esploriamo in questa sezione le parti dell'Automa a Stati Finiti dell'intelligenza artificiale, partendo dalla definizione dello stesso. Un FSM è definito come un insieme di cinque elementi $(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ a loro volta definiti come segue:

- Q insieme finito di stati possibili.
- Σ insieme finito di simboli di input.
- $\delta : Q \times \Sigma \rightarrow Q$ funzione di transizione.
- $q_0 \in Q$ stato iniziale.
- $F \subseteq Q$ insieme di stati finali.

In ogni dato momento l'Automa si trova in un qualche stato $q \in Q$ a partire dallo stato q_0 , fino a quando giunge - se previsto - in un qualche stato finale $q_n \in F$. Dallo stato Q l'Automa può ricevere in input un qualsivoglia simbolo $\sigma \in \Sigma$ e con esso e lo stato in cui si trova stabilire, tramite δ , quale sia il prossimo stato verso cui transire. E' importante rilevare che questa decisione è presa in maniera univoca e prevedibile, poiché gli Automi qui trattati sono di tipo deterministico: non esiste dunque alcuna variabile aleatoria concorrente a determinare la transizione. Esistono tuttavia alcuni eventi determinati dal caso che possono causare l'ingresso di un simbolo di input.

Nell'implementazione in analisi gli insiemi che compongono l'automa sono così riprodotti:

- Q è l'insieme di oggetti di una specifica classe che prende il nome di FSMState.
- Σ è un insieme di booleani che descrivono lo stato del gioco dal punto di vista dell'agente tramite i quali prendere le decisioni.
- δ è l'insieme di oggetti della classe FSMTransition. A ogni stato è associata una lista di tali transitioni associate a un simbolo σ e mappate verso uno stato di output.
- q_0 è lo stato, descritto nel successivo paragrafo, di inseguimento della palla, poiché all'inizio nessun giocatore ne è in possesso.

Si tratta di una realizzazione della struttura proposta in [1]. Come già accennato, si tratta di agenti multiruolo. La struttura è quindi equivalente per ogni agente: tutti i membri di una squadra sono mossi dallo stesso codice con parziale ispirazione al lavoro svolto da Aleluya et al. in [2].

Gli stati

L'insieme degli stati Q è composto di quattro elementi, compreso lo stato iniziale q_0 descritto in precedenza. Si tratta di:

- Uno stato di controllo della palla in cui l'agente cerca di far avanzare il gioco verso la porta avversaria e gestire la palla in base al pericolo imminente o alla possibilità di tirare.
- Uno stato di attacco privo di palla in cui l'agente avanza verso la zona d'attacco in attesa di ricevere un passaggio dal portatore di palla.
- Uno stato di difesa in presenza della possibilità di inseguire e rubare il pallone al portatore o raggiungere e raccogliere la palla in caso sia vacante. Questo si concretizza anche nell'intercettazione di passaggi e tiri avversari e nella ricezione di passaggi alleati.
- Uno stato di "rientro" verso la difesa e protezione della porta in mancanza di tale possibilità.

Ogni stato permette all'agente di eseguire un diverso numero di azioni. Tramite tali azioni è possibile suddividere l'automa in più stati, trasformando questi in macrostati, ma non è qui apparso necessario al buon funzionamento dell'Automa. Entriamo dunque nel dettaglio delle azioni associate ai vari stati.

Le azioni

Segue qui una lista delle azioni associate a ogni stato. Le azioni vengono ripetute ogni 0.1 secondi, intervallo tra due ripetizioni dell'aggiornamento dell'Automa. Gli stati contengono:

1. Avanzamento

- Un'azione di effettivo "avanzamento", ossia di movimento dell'agente e della palla verso la porta avversaria. Questo è l'unico caso in cui l'agente si sposta a velocità minore di quella comune a tutte le altre azioni di movimento, sia per simulare l'"intralcio" della palla alla corsa e sia per permettere ai difensori di raggiungerlo.
- Un'azione consistente in un tentativo di dribbling su un avversario non appena è "troppo" vicino. In caso di fallimento la palla passa all'avversario. Per simulare semplicemente lo "scarto" di un avversario quest'azione imprime anche un impulso sullo stesso, allontanandolo dal portatore, che nel contempo esegue uno scatto in avanti, sia in caso di successo sia in caso di fallimento.
- Un'azione consistente in un dribbling a maggiore difficoltà se più avversari sono vicini. Questo è ottenuto manipolando il livello di "abilità" dell'agente.
- Un'azione di tiro in porta quando essa è entro la distanza stabilita.
- Un'azione di passaggio di palla.

2. Supporto in attacco

- L'unica azione presente in questo stato consiste nel recarsi verso la posizione di supporto più appropriata, determinata in base a quanti compagni di squadra si trovino più a destra o più a sinistra dell'agente.

3. Ritirata

- L'azione di ritirata ha un funzionamento duplice: prevede infatti il raggiungimento di una posizione sufficientemente arretrata e il conseguente marcamento di un'area, assegnata analogamente alla posizione di supporto descritta nello stato precedente. Il marcamento è dinamico e ottenuto tramite oscillazione della posizione dell'agente.

4. Inseguimento

- Un'azione di inseguimento del portatore di palla
- Un'azione di scatto verso la palla una volta che il portatore sia stato quasi raggiunto, per tentare di rubarne il possesso. Si noti che l'azione consiste solo nello scatto: la possibilità di ottenere palla è concretizzata nel fallimento del dribbling da parte del portatore che si trova un difensore a distanza di pericolo.
- Un'azione di cattura della palla se essa è vacante.

Le azioni qui elencate ricoprono la gestione dell'intero spettro delle situazioni di gioco previste. Come già accennato, appare evidente che più di uno stato - in particolare quello di avanzamento - sia, in caso di necessità di raffinamento della macchina, suddivisibile in sottostati minori contenenti un minor numero di azioni. Questo richiederebbe tuttavia un più vasto alfabeto Σ dei simboli di input. Per mantenerne bassa la cardinalità, e insieme ad essa la cardinalità dell'insieme Q degli stati possibili, si è scelto di mantenere integro tale stato, considerando che ognuna delle azioni differenti dall'avanzamento propriamente detto è finalizzata a riprendere l'avanzamento e con esso conservare invariata la finalità dell'agente in nello stato.

I simboli di input

Come accennato nel capitolo precedente, si è preferito ottenere un alfabeto di dimensioni contenute e facile lettura. Tale alfabeto è implementato da un numero contenuto di booleani e dei loro negati adeguatamente combinati in modo diretto o strutturale - dove per diretto si intende tramite un'operazione logica e per strutturale si intende la lettura di un booleano in uno stato in cui si ha certezza del valore di un altro. Si contano in tutto cinque simboli $\sigma \in \Sigma$ nell'Automa:

- Il possesso di palla, ossia "il giocatore in controllo della palla coincide con l'agente"
- Il possesso di palla da parte di un giocatore alleato, ossia un membro della stessa squadra diverso dall'agente.
- Il mancato possesso di palla da parte della propria squadra, che comprende il controllo di palla avversario così come la palla in stato vacante.
- L'esistenza di una linea di vista tra l'agente e la palla.
- L'inesistenza di una linea di vista tra l'agente e la palla, negazione diretta del simbolo precedente.

Appare subito evidente come per generare tale numero di simboli siano sufficienti tre variabili booleane: una che verifichi la linea di vista tra agente e palla, una per verificare se il giocatore in possesso di palla coincida con il portatore e una per determinare se la propria squadra sia in possesso di palla o meno. Si osserverà come la variabile che verifica l'esistenza della linea visiva tra il giocatore e la palla (o il suo portatore, se esso esiste) sia di interesse solo quando è la squadra avversaria ad avere il controllo del gioco.

Fenomenologia della simulazione e transizioni

In ultimo, l'Automa contiene nove transizioni. Otto di esse sono "coppie" andata e ritorno tra coppie di stati, ma è certo di più immediata comprensione, prima di addentrarsi nelle situazioni che esse sono preposte a gestire, una rappresentazione grafica dello schema dell'Automa. In esse lettere rappresentano le variabili σ di input.

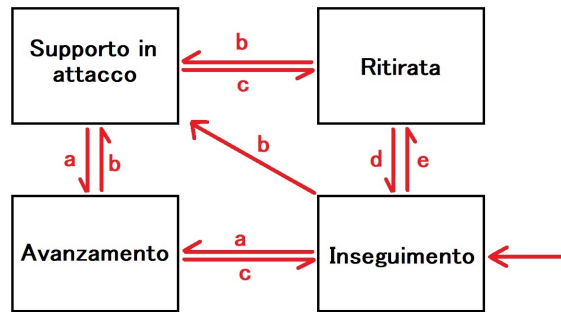


Fig 1. Schema dell'Automa implementato.

Le lettere presentano lo stesso ordine proposto nel precedente paragrafo: (a) controllo di palla, (b) palla a un compagno di squadra, (c) controllo di palla avversario o palla vacante, (d) linea di vista tra agente e palla, (e) mancata linea di vista tra agente e palla.

Comportamento dell'Automa

Passiamo ora ad analizzare più in dettaglio le situazioni affrontate dall'agente e le decisioni che l'agente prende di fronte alle stesse. Come già accennato, l'Automa inizia la partita nello stato di Inseguimento. Oltre a essere lo stato naturale dell'agente quando la palla è al centro e dunque non in possesso di alcun giocatore, è anche lo stato più "comunicativo", ossia quello con il maggior numero di transizioni e quindi il più elastico per raggiungere subito uno stato adatto dalla condizione di gioco più incerta. La palla viene infatti contesa al centro tramite operazioni di Dribbling - il cui risultato è randomico - e può portare subito lo stato dell'Automa in ogni stato possibile. E' infatti verosimile che il giocatore più vicino al centro di ogni squadra debba transire immediatamente allo stato di portatore o di inseguimento del portatore, mentre gli altri potranno divenire attaccanti di supporto nel primo caso o uno dei due tipi di difensore in base alla presenza di altri giocatori a ostacolare la loro linea di vista con la palla.

Avanzamento

Una volta che il gioco è avviato, il portatore di palla tenderà di "proteggere" il suo stato tramite dribbling. I dribbling, per loro natura, tentano di guadagnare distanza dai difensori. Essendo i difensori però più veloci del portatore è possibile che quest'ultimo si trovi circondato. In presenza di più di un avversario (in qualsiasi numero) egli proverà subito a cercare un alleato a cui passare la palla. Se questo non fosse possibile, l'ultima "disperata" soluzione sarà quella di tentare di dribblare ogni avversario vicino con una probabilità di successo ridotta rispetto al normale. Pertanto, come visibile nello schema, le transizioni dello stato di portatore di palla avvengono nelle situazioni di "passaggio con successo" e "perdita della palla". Si può notare che implementativamente il passaggio implichi "perdita della palla", rendendo quindi superflua la transizione diretta a "passaggio avvenuto con successo", ma poiché la FSM non si aggiorna ogni frame (il tempo di aggiornamento della coroutine può essere manipolato) è possibile che il passaggio abbia successo nel tempo di attesa tra due refresh. E' inoltre possibile che in una implementazione più raffinata per una migliore simulazione del gioco il successo del passaggio sia predeterminato nell'azione stessa di passaggio. Si è pertanto deciso di conservare tale transizione. Le due variabili input che regolano l'uscita dallo stato sono quindi "Alleato in possesso di palla" e "Palla non controllata dalla propria squadra" che insieme alla condizione normale dello stato "Agente in possesso di palla" ricoprono l'intero spettro delle possibili condizioni di controllo di palla. Se nessuna transizione viene innescata lo stato porta naturalmente l'agente in condizione di tiro in porta. Tale azione non è stata randomizzata nel suo successo, ma non è esclusa la possibilità che un difensore, innescando l'azione di scatto, non possa intercettarla in volo inseguendola una volta che è vacante. Tale eventualità è stata osservata durante i test.

Supporto in attacco

Se l'agente si trova nella condizione di essere alleato del portatore di palla si troverà in questo stato. Questo può avvenire in seguito alla cattura di una palla vacante da parte di un compagno, a un passaggio ricevuto o intercettato da un compagno o a un furto di palla causato dal fallimento del dribbling di un avversario. In questo stato l'agente verifica quanti compagni di squadra si trovino alla sua destra e alla sua sinistra e in base a questa valutazione deciderà se raggiungere una posizione di ala destra o sinistra a media distanza dalla porta. Questo, unito al diverso stato di avanzamento verso la porta dei vari agenti, fa sì che l'agente possa dover "salire" direttamente verso una posizione di fronte a lui come possa dover tagliare interamente il campo di gioco, con tutte le vie mezzo, creando molti possibili angoli, diversi di azione in azione, per la

ricezione della palla in caso di passaggio. Una volta raggiunta tale posizione desiderata l'agente tenderà a fermarsi in attesa del tiro alleato, di un passaggio da ricevere o della perdita della palla da parte della propria squadra. L'eventualità di fallimento di un tiro per intercettazione e perdita della palla portano l'agente in stato di Ritirata verso la propria porta - da cui può subito transire allo stato di inseguimento di palla se essa si trova in stato di visibilità - mentre la ricezione di un passaggio trasforma l'agente nel portatore portandolo in Avanzamento in una posizione vicina alla porta, simulando la situazione di passaggio "cross" e conseguente tiro. Si noti che in questo prototipo non è stata considerata la regola del "fuori gioco", fortemente antinergica al gioco del calcio non ruolizzato. Le due variabili di input che regolano l'uscita da questo stato sono quella di "Agente in possesso di palla" e "Palla non controllata dalla propria squadra" che insieme alla condizione normale dello stato "Alleato in possesso di palla" ricoprono l'intero spettro delle possibili condizioni di controllo di palla.

Ritirata

L'ingresso in questo stato è previsto sia da una fase di attacco, e più precisamente di supporto in attacco, a causa un cambio di bandiera del controllo di palla sia da una situazione di difesa nel caso in cui qualcosa si intrometta tra l'agente e la palla durante un inseguimento della stessa. In questo stato il giocatore valuta la propria posizione in maniera analoga a quella descritta nello stato di Supporto in attacco, ma in maniera duplice: verifica quanti alleati si trovino a destra e a sinistra ma anche quanti si trovino più vicini alla propria porta. A questo punto sceglie una di quattro "zone" da marcare e si reca direttamente verso la posizione selezionata, per marcarla tramite un movimento oscillatorio una volta raggiunta. La ritirata è un'azione cautelare che permette all'agente di essere utile alla difesa della propria squadra non appena la palla tornerà in vista, e riprendere visione della palla è la seconda finalità dell'azione oscillatoria, oltre appunto a quella di protezione della propria zona di campo. L'uscita da questo stato è regolata da due variabili di input: "Alleato in possesso di palla" e "Esistenza di una linea di vista tra l'agente e la palla". Lo stato copre infatti "Inesistenza di una linea di vista" associata a "Palla non controllata dalla propria squadra". L'unica transizione non diretta è quella verso il controllo di palla da parte dell'agente stesso. Questo è possibile nel caso molto raro in cui l'agente si trovi entro il range di dribbling dal portatore avversario ma in presenza di un altro giocatore in mezzo che viene in quel momento scartato con un dribbling (l'azione di dribbling prevede l'esistenza di una linea di vista tra il portatore e il difensore dribblato, ma si considera qui ancora una volta la possibilità che la situazione cambi nell'intervallo di refresh dell'Automa). Si osserva comunque che se l'agente dovesse ricevere la palla tramite dribbling essa verrebbe subito posizionata in suo possesso, cambiando lo stato di "Esistenza di una linea di vista" e portando quindi immediatamente il difensore in fase di inseguimento, da cui il controllo palla subito innesca la transizione allo stato di Avanzamento proprio del portatore di palla.

Inseguimento

L'ultimo stato in analisi è quello inseguimento diretto della palla o, se esiste, del suo portatore. Questo stato copre le condizioni di "Esiste una linea di vista tra agente e palla" e "Palla non controllata dalla propria squadra". In questo stato l'agente si muove direttamente nella direzione del bersaglio per cercare di ottenere il controllo di palla. Questo è infatti sia lo stato in cui è possibile catturare una palla vacante sia quello in cui di norma si subisce un dribble, unica possibilità per rubare la palla all'effettivo portatore. Le transizioni in uscita da questo stato sono tre, unico caso in tutto l'automa: l'uscita è infatti regolata da tre variabili di input per transire a tutti gli altri stati, e

sono rispettivamente "Agente in possesso di palla", "Alleato in possesso di palla" e "Inesistenza della linea di vista" che unite ai due simboli che caratterizzano la permanenza dello stato coprono l'intero alfabeto Σ .

Casi limite

In ultimo portiamo l'attenzione ad alcuni casi limite nel comportamento del sistema:

- Il caso limite più notevole è quello causato dalla randomicità del successo del dribbling, ossia quello in cui due giocatori continuano ad ottenere reciproci fallimenti in dribbling passandosi la palla tra avversari. Tuttavia tale caso è gestito dall'intero "sistema" simulazione tramite gli alleati dei giocatori: l'arrivo di altri difensori pone termine alla fase di dribbling avviando quella di passaggio di palla o, al caso estremo, causando molti più dribbling al secondo e portando quindi asintoticamente a zero le probabilità che tale processo continui in tempi molto brevi. Si ricorda che non appena un dribbling dovesse avere successo la controparte verrà sbalzata dall'impulso conseguente.
- Unico comportamento bizzantino osservato è quello in cui, in rari casi, le collisioni in Unity non si comportano secondo le previsioni, ossia non avvengono: capita saltuariamente infatti che la palla attraversi indenne il collider di una parete uscendo dal campo, il che causa in ogni agente in gioco la transizione verso lo stato di Ritirata, poiché la palla non è più visibile. La risoluzione di tale problema esula tuttavia dallo scopo del progetto ed è quindi stata lasciata alla più rapida pratica di reset manuale della scena.

References

1. D. Maggiorini Artificial Intelligence for Videogames - FSM
2. E.R.N. Aleluya et al. Decision-making system of soccer-playing robots using finite state machine based on skill hierarchy and path planning through Bezier polynomials
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918314595?via%3Dihub>