مدلسازی رفتارسرمایه‌گذاران دربازار سهام با آتوماتای سلولی یادگیرنده

معصومه محمدی * (masoome.mohamadi۲۸@yahoo.com)
حمیدرضا نویدی † (Navidi@shahd.ac.ir)

* تهران، آزادراه خلیج فارس، روبروی حرم مطهر امام خمینی، دانشگاه شاهد، کارشناسی ارشد ریاضی
† عضو هیأت علمی دانشگاه شاهد، گروه ریاضی کاربردی و علوم کامپیوتر

چکیده

سرمایه‌گذاران در بازار سهام، سه عمل خرید، فروش و نگهداری سهام را انجام می‌دهند. آن‌ها براساس تجزیه و تحلیل‌های ذهن خود، شرایط بازار و انتخاب حداکثری سایر سرمایه‌گذاران، یکی از این سه عمل را برمی‌گزینند. دراین مقاله از الگوریتم‌های یادگیری خطی استفاده شده است که در آن با استفاده از قوانین یادگیری، آتوماتای سلولی به آتوماتای سلولی یادگیرنده تبدیل می‌شود. این قوانین، از نوع پاداش- جریمه هستند و به سرمایه‌گذاران کمک می‌کنند تا در هر مرحله انتخاب مناسب‌تری داشته باشند.

کلمات کلیدی:آتوماتای سلولی یادگیرنده، تابع پاداش-جریمه، الگوریتم یادگیری خطی.

۱ مقدمه

بازارهای سهام سیستم‌های پیچیده‌ای هستند که از مجموعه‌ای از زیرسیستم‌های غیرخطی تشکیل شده‌اند. در این سیستم، هر سرمایه‌گذار تحلیل‌ها و فرمول‌های مخصوص به خود دارد که با استفاده از آن‌ها و درک خود از رخدادها و شرایط فعلی بازار، درمورد نحوه‌ی سرمایه‌گذاری تصمیم می‌گیرد. این گونه فاکتورهای تاثیرگذار را فاکتورهای فیزیکی [۱، ۲] می‌نامیم. در کنار فاکتورهای فیزیکی، عوامل روحی و روانی نیز در نوع سرمایه‌گذاری و رفتار سرمایه‌گذاران تاثیر می‌گذارد. این فاکتورها باعث می‌شوند تا پیش‌بینی دقیق رفتار بازار سهام غیرممکن شود. ابزارهای متنوعی برای مدل‌کردن بازار سهام و سرمایه گذاری وجود دارند، الگوریتم‌های ژنتیک، شبکه‌های عصبی، درخت‌های تصمیم، سیستم‌های نورون- فازی، سیستم‌های شبکه‌های اجتماعی، مکانیک کوانتوم و آتوماتای سلولی از جمله ابزارهای مناسب می‌باشند. اگر در مدل ارائه شده، فضای شبیه‌سازی یک فضای شبکه‌ای گسسته باشد و به هر عامل یک سلول از شبکه را نسبت دهیم، مدل موردنظر به آتوماتای سلولی مبدل می‌گردد.

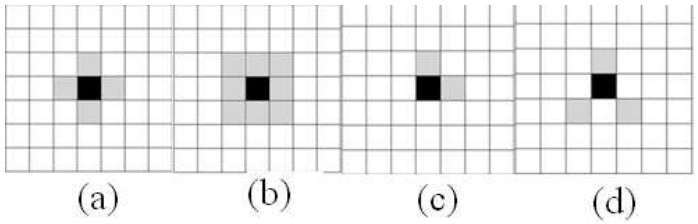
آتوماتای سلولی، یک سیستم پویا، گسسته و شبکه‌ای محلی می‌باشد. از آتوماتای سلولی در مسائلی که جنبه خودسازمانده دارند، به‌خصوص در سیستم‌های دارای پیچیدگی فراوان، استفاده می‌شود. همچنین آتوماتای سلولی در بازی‌های کامپیوتری و مدل‌سازی‌های فیزیکی، بیولوژیکی و اجتماعی کاربردهای فراوان دارد. ترکیب الگوریتم‌های جدید با این نوع از آتوماتا باعث بوجودآمدن آتوماتاهای سلولی جدید مانند آتوماتای سلولی ژنتیکی، آتوماتای سلولی فازی، آتوماتای سلولی شبکه عصبی، آتوماتای سلولی سلسله‌مراتبی،

آتوماتای سلولی پشته‌ای و آتوماتای یادگیرنده سلولی شده است. امروزه مطالعه علوم اقتصادی بااستفاده از آتوماتای سلولی روند روبه‌رشدی را طی می‌کند [۱، ۲، ۴] .

۲ آتوماتای سلولی

آتوماتای سلولی شبکه‌ای از سلول‌هاست که معمولا به شکل مربع هستند. هر سلول K حالت مختلف دارد که K عددی متناهی و بزرگتر یا یک است. این شبکه می‌تواند n بعدی $(n \geq ۲)$ باشد. هر آتوماتای سلولی با یک ترکیب اولیه از سلول‌ها در مرحله زمانی $t = ۰$ شروع به رشد می‌کند. سلول‌ها در مرحله زمانی $t = ۰, ۱, ۲, \cdots$ با تبعیت از یک قاعده (تابع انتقال) محلی و باتوجه به وضعیت فعلی خود و همسایه‌هایشان به مرحله بعد رفته و ساختار جدیدی را شکل می‌دهند [۵] .

در شکل ۱ همسایگی نیومن(شکل ۱.a)، مور(شکل ۱.b)، اسمیت(شکل ۱.c) و کول(شکل ۱.d) که از معروف‌ترین



شکل ۱: همسایگی‌های مختلف در آتوماتای سلولی دوبعدی

همسایگی‌ها در آتوماتای دوبعدی هستند، به تصویر کشیده شده است.

۳ شبیه‌سازی رفتار سرمایه‌گذاران در بازار بورس بر پایه آتوماتای سلولی

هر آتوماتای سلولی نشان‌دهنده یک بازار بورس است و هر سلول به‌عنوان یک سرمایه‌گذار است. مدل ما براساس همسایگی مور است و متغیر حالت $s_{i,j}(t)$ بیانگر وضعیت سرمایه‌گذار در مکان (i, j) و در زمان t است. به‌بیان‌دیگر

$$S_{i,j}(t) \in \{S_b, S_h, S_s\},$$

که S_b نشان‌دهنده حالت خرید، S_h حالت نگهداری و S_s ، حالت فروش سهام است. قوانین انتقال براساس وضعیت سلول (i, j) در مرحله زمانی $t + ۱$ ، تابعی از وضعیت خود سلول و وضعیت سلول‌های همسایه در مرحله زمانی قبل، فاکتورهای کلان و احتمال تقلید از همسایه‌ها P است. به‌عبارت‌دیگر:

$$S_{i,j}(t + ۱) = F(S_{(i,j)}(t), S_{(i,j)L}(t), Mf, P),$$

که F بیانگر قوانین انتقال و

$$S_{(i,j)L}(t) = \begin{pmatrix} s_{(i-1,j-1)}(t) & s_{(i-1,j)}(t) & s_{(i-1,j+1)}(t) \\ s_{(i,j-1)}(t) & & s_{(i,j+1)}(t) \\ s_{(i+1,j-1)}(t) & s_{(i+1,j)}(t) & s_{(i+1,j+1)}(t) \end{pmatrix}.$$

رفتار همسایگان براساس قانون اکثریت تعیین می‌شود. رفتار خود سرمایه‌گذار بازتاب میزان تقلیدی‌بودن اوست. درواقع در بازار سهام سرمایه‌گذاران از افرادی که مورداطمینان آن‌ها است رفتار تقلیدی دارند. P نشان‌دهنده احتمال تقلید سلول (i,j) است. یعنی سلول (i,j) با احتمال P از حالت جاری به وضعیتی معادل با وضعیت اکثر همسایگان تغییرحالت می‌دهد. زمانی‌که $P \in [۰, ۰/۵)$ است، سرمایه‌گذاری پاد-تقلیدی، در حالتی که $P \in (۰/۵, ۱)$ باشد، سرمایه‌گذاری تقلیدی، در حالتی که $P = ۰/۵$ باشد، سرمایه‌گذاری غیر تقلیدی و در حالت $P = ۱$ سرمایه‌گذاری کاملا تقلیدی است.

قوانین یادگیری ما، از الگوریتم یادگیری خطی تبعیت می‌کند. از آنجا که الگوریتم یادگیری خطی از لحاظ ریاضی ساده‌تر است، از توابع پاداش و جریمه خطی استفاده کرده‌ایم. در این روابط r تعداد اقدام‌های آتوماتا، a پارامتر پاداش و b پارامتر جریمه است. دقت کنید در آتوماتای طراحی‌شده هر اقدام به‌منزله یکی از حالت‌های خرید، فروش یا نگهداری می‌باشد. از این‌رو در کار ما $r = ۳$ در نظر گرفته می‌شود. شکل کلی این الگوریتم یادگیری به‌صورت زیر است:

اگر در گام n -ام اقدام α_i انتخاب شده باشد در گام $n+۱$ -ام روند زیر دنبال خواهد شد:

الف- پاسخ مطلوب $(\beta_i(n) = ۱)$ از محیط دریافت گردد

$$P_i(n+۱) = P_i(n) + a[۱ - P_i(n)],$$
$$P_j(n+۱) = (۱-a)P_j(n) \quad \forall j \neq i,$$

ب- پاسخ نامطلوب $(\beta_i(n) = ۰)$ از محیط دریافت گردد

$$P_i(n+۱) = (۱-b)P_i(n),$$
$$P_j(n+۱) = [\frac{b}{r-۱}] + (۱-b)P_j(n) \quad \forall j \neq i.$$

اگر $b = ۰$ باشد، آتوماتای یادگیر فقط از نوع پاداش است. مجموعه های C_i نیز احتمالات جریمه پاسخ‌های محیط را مشخص می‌کند:

$$C_i = Prob\{\beta(n) = ۱ | \alpha(n) = \alpha_i\}, \quad i = \{۱, \cdots, r\}.$$

به بیانی دیگر C_i احتمال اینکه اقدام α_i پاسخ نامطلوبی از محیط را دریافت‌کند، نشان‌می‌دهد. برهمین اساس می‌توان محیط را توسط مجموعه احتمالات پاداش (موفقیت) d_i نشان داد که دراین حالت d_i نشان‌دهنده احتمال دریافت پاسخ مطلوب به اقدام α_i است [۵] .

تعیین یک ضریب خرید یا فروش شاخص‌های کلان منجر به افزایش یا کاهش احتمال خرید یا فروش از سوی سرمایه‌گذاران می‌شود. زمانی‌که شاخص‌کلان مثبت باشد، احتمال خرید از سوی سرمایه‌گذاران افزایش یافته و مادامی‌که شاخص‌های کلان منفی

باشد، احتمال فروش افزایش می‌یابد [۲] .

۴ قواعد یادگیری

ستون دوم از جدول مربوط به شکل ۲ [۲] رفتاری را نشان می‌دهد که بیشترین وزن اعتماد را در بین همسایگان داشته است. این وزن‌ها از طریق قواعد یادگیری درهر مرحله به‌روز می‌شوند.
برای ایجاد یک روند یادگیری از روش پاداش- جریمه و پاداش استفاده کرده‌ایم. با توجه به سه عمل خرید، نگهداری و فروش

Mf	رفتاری که بیشترین وزن اعتماد را در میان همسایگان دارد	خرید	نگهداری	فروش
اطلاعات مثبت (Mf>0)	خرید	(P + Mf)	(1 – P – Mf)0.5	**(1 – P – Mf)0.5**
	نگهداری	(1 – P)(0.5 + 0.5Mf)	P	**(1 – P)(0.5 – 0.5Mf)**
	فروش	(1 – P)(0.5 + 0.5Mf)	(1– P)(0.5 – 0.5Mf)	**P**
اطلاعات منفی (Mf<0)	خرید	P	(1 – P)(0.5 + 0.5Mf)	**(1– P)(0.5 – 0.5Mf)**
	نگهداری	(1 – P)(0.5 + 0.5Mf)	P	**(1 – P)(0.5 – 0.5Mf)**
	فروش	(1 – P + Mf)0.5	(1 – P + Mf)0.5	**(P – Mf)**

شکل ۲: جدول قوانین تکاملی آتوماتای سلولی

سهام و نیز با استفاده از جدول و الگوریتم یادگیری خطی ذکر شده در بخش ۳ احتمالاتی بدست آمد. برای مثال در حالتی که اطلاعات بازار مثبت و رفتار اکثریت خرید بود و نیزسرمایه‌گذار موردنظر نیز عمل خرید را انتخاب می‌کرد، این احتمال بصورت زیر بدست می‌آید:

$$
\begin{aligned}
P_{i+۱} = {} & [(P_i + Mf) + a(۱ - (P_i + Mf))]\,(۱ - cb)(P_i + Mf) \\
& + (۱ - a)(P_i + Mf)\,[[(۱ - ch)(۱ - (P_i + Mf) - (۱ - P_i - Mf)۰/۵)] \\
& + [(۱ - cs)(۱ - (P_i + Mf) - ((۱ - P_i - Mf)۰/۵))]] \\
& + [(۱ - b)(P_i + Mf)]\,cb(P_i + Mf) \\
& + \left[\left[\frac{b}{r - ۱}\right] + (۱ - b)(P_i + Mf)\right][ch((۱ - P_i - Mf)۰/۵) + cs((۱ - P_i - Mf)۰/۵)]\,.
\end{aligned}
\tag{۱}
$$

این احتمال از ۶ جمله تشکیل شده است. با توجه به دریافت پاسخ مطلوب یا نامطلوب از محیط برای سه عمل خرید، نگهداری یا فروش سهام برای سرمایه‌گذار، به‌ترتیب، پاداش یا جریمه درنظرگرفته می‌شود. cs, ch, cb به‌ترتیب احتمال جریمه بدلیل دریافت پاسخ نامطلوب از محیط برای اقدام خرید، نگهداری یا فروش را نشان می‌دهند. همچنین $\{۱ - cs, ۱ - ch, ۱ - cb\}$ نشان‌دهنده احتمال دریافت پاسخ مطلوب به اقدام خرید، نگهداری یا فروش سهام است. در مثال بالا از آنجایی که انتخاب عمل خرید توسط سرمایه‌گذار کمترین جریمه را دارد، برای cb مقدار زیر را درنظر می‌گیریم:

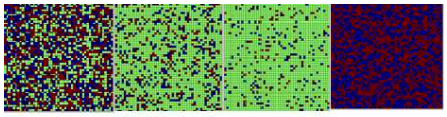
$$cb = \left[\frac{N_{max,i} - N_{max,i-۱}}{N_{max,i}}\right]^{۲}.$$

اما

$$ch = cs = \frac{(N_{max,i} - N_{max,i-1})^2}{N_{max,i}},$$

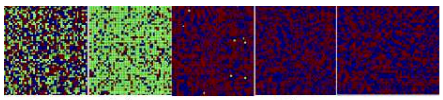
که $N_{max,i}$ تعداد همسایگانی است که در مرحله i رفتار اکثریت را انتخاب کرده‌اند.

برای بررسی مدل ارائه‌شده دو شبیه‌سازی انجام داده‌ایم. در شکل های ۳و۴ خرید سهام با رنگ قرمز، فروش با آبی و نگهداری با سبز نمایش داده می‌شوند. در شکل ۳.a و ۴.a حالت ابتدایی و تصادفی یک بازار سهام را مشاهده می‌کنید. می‌خواهیم تاثیر فاکتورهای کلان و تقلید را در پایداری بازار سهام مورد بررسی قرار دهیم. در شکل ۳ ابتدا Mf را برابر صفر در نظر می‌گیریم و از قوانین یادگیر استفاده می‌کنیم. شکل‌های ۳.b , ۳.c و ۳.d بازار را با در نظر گرفتن رفتارهای غیرتقلیدی، تقلیدی و کاملا تقلیدی پس از ۳۳۰ مرحله نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌کنید، در حالت کاملا تقلیدی هیچ سهمی نگهداری نشده است و با نادیده گرفتن فاکتور کلان تاثیر چندانی در پایداری بازار سهام ایجاد نمی‌شود.



شکل ۳: بررسی تاثیر تقلید هنگامی که شاخص کلان صفر است.

$$(a)\{N_b, N_h, N_s\} = \{۸۳۳, ۸۶۹, ۷۹۸\}, (b)P = ۰/۵, steps = ۳۳۰, \{N_b, N_h, N_s\} = \{۳۲۳, ۱۸۴۷, ۳۳۰\},$$
$$(c)P = ۰/۷۵, steps = ۳۳۰, \{N_b, N_h, N_s\} = \{۱۴۴, ۲۲۱۶, ۱۴۳\}, (d)P = ۱, steps = ۳۳۰, \{N_b, N_h, N_s\} = \{۱۲۵۶, ۰, ۱۲۴۴\}$$



شکل ۴: بررسی تاثیر شاخص کلان هنگامی که رفتار سرمایه گذاری غیرتقلیدی یاکاملا تقلیدی است

$$(a)\{N_b, N_h, N_s\} = \{۸۳۱, ۸۵۰, ۸۱۹\},$$
$$(b)P = ۰/۵, Mf = ۰/۱, \{N_b, N_h, N_s\} = \{۳۴۹, ۱۸۸۳, ۲۶۸\}, (c)P = ۰/۵, Mf = ۰/۹, \{N_b, N_h, N_s\} = \{۱۴۷۸, ۱۱, ۱۰۱۱\},$$
$$(d)P = ۱, Mf = ۰/۱, \{N_b, N_h, N_s\} = \{۱۲۵۳, ۰, ۱۲۴۷\}, (e)P = ۱, Mf = ۰/۹, \{N_b, N_h, N_s\} = \{۱۲۱۲, ۰, ۱۲۸۸\},$$

در مرحله بعد یک‌بار برای حالت غیر تقلیدی یعنی شکل‌های۴.b و۴.c و باردیگر برای حالت کاملا تقلیدی یعنی شکل‌های۴.d و ۴.e فاکتور کلان را از ۰.۱ به ۰.۹ تغییر می‌دهیم. همانطور که مشاهده می‌کنید، در حالت غیر تقلیدی و زمانی که Mf به ۰.۹ می‌رسد احتمال خرید بیش از فروش است که نتیجه موردانتظار ما است. اما در حالتی که رفتار سرمایه‌گذاران کاملا تقلیدی است، هیچ سهمی نگهداری نشده است و افزایش Mf هم تاثیری در میزان خرید و فروش ندارد.

۵ استنتاج و تحقیقات آتی

عامل تقلید و فاکتورهای کلان، دو عامل کلیدی در پایداری بازار سهام می‌باشند. زمانی که فاکتور کلان صفراست، در رفتارهای غیر تقلیدی، نگهداری سهام بیش از خرید و فروش سهام است. اما در رفتارهای کاملا تقلیدی هیچ سهمی نگهداری نشده است. زمانی که فاکتور کلان را از ۰.۱ به ۰.۹ افزایش می‌دهیم، در رفتارهای غیر تقلیدی، نگهداری سهام به خرید وفروش سهام تبدیل می‌شود اما در رفتارهای کاملا تقلیدی، هیچ سهمی نگهداری نشده و فقط خرید و فروش داریم. در این حالت تاثیر فاکتور کلان کمرنگ می‌شود.

این مقاله در موارد زیر نیاز بررسی‌های دیگری دارد:

- اگر تعداد سهام را متناهی در نظر بگیریم، مدل ما به واقعیت نزدیکتر است و با اتمام فروش سهام، سرمایه‌گذار موردنظر از بازار خارج خواهد شد.
- میزان تقلیدی بودن رفتار، برای هر فرد نسبت به دیگری متفاوت است.
- ارتباط بین سهام مرتبط با یکدیگر مثل طلا و دلار که تغییر در قیمت یکی از آن‌ها، قیمت دیگری را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد، باید مورد بررسی قرار گیرد.
- بکارگیری توابع تصادفی پاداش و جریمه متنوع و نیز یافتن ضرایب پاداش و جریمه جدید باید مورد بررسی قرار گیرد.

شکل ۵: پوستر سومین کنفرانس ریاضیات مالی و کاربردها

مراجع

[1] Fan Y, Ying Sh. J, Wang B. h, Wei Y. m, The effect of investor psycology on the complexity of stock market: An analysis based on cellular automaton model, Computers and Industrical Engineering, 2009; 56: 63-69.

[2] Wei Y. m, Ying Sh. J, Fan Y, Wang B. h, The cellular automaton model of investment behavior in the stock market, Physica A, 2003; 325: 507-516.

[3] Grosan C, Abraham A, Stock Market Modeling Using Genetic Programming Ensembles, Genetic System Programming, Nadia Nedjah et al, (Eds.), Studies in Fuzziness and Soft Computing, Springer Verlag, Germany, 2006; 131-146.

[4] Li X, Yeh A. G. O, Calibration of cellular automata by using neural networks for simulation of complex urban system, Environment and Planning, Part A, 2001; 33: 1445-1462.

[5] Schiff J. L, Cellular Automata, A discrete view of the world, John Wiley Sons Inc, Publication, University of Auckland, 2008.