Електронне наукове фахове видання "Ефективна економіка" включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки

Ефективна ЕКОНОМІКА

Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет

№ 8, 2011 Назад Головна

УДК: 336.764; 519.246.8.

А. Ш. Тулякова,
магистр математики, Одесский Национальный Университет им. И.И. Мечникова,
кафедра математического анализа

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЦЕНЫ ФИНАНСОВОГО АКТИВА НА РЫНКЕ ЦЕННЫХ БУМАГ

Анотация. *Исследуется задача эффективного прогнозирования на реальных рынках ценных бумаг в краткосрочный период (в частности внутри дня). Для её решения предлагается подход, по сути являющийся разновидностью технического анализа, который позволяет спрогнозировать направление изменения цены в ближайшее время по средствам поиска аналогий текущей ситуации в статистике исторических данных о ценах этого финансового актива. Особенностью предлагаемого подхода является предварительное преобразование этих исторических данных с помощью аппарата теории аппроксимации.*

Annotation. *The problem of efficient forecasting of real stock markets in the short term (particularly within the day) is investigated. An approach is proposed for solving of this problem which is essentially a kind of technical analysis. It allows to predict the direction of price change in the near future by means of finding similarities in the statistics of the current situation of historical data on prices of financial assets. Feature of the proposed approach is the preliminary conversion of historical data using the apparatus of the approximation theory.*

Ключевые слова: с*кальпинг, технический анализ, паттерн, кусочно-монотонная аппроксимация.*

Key words: *scalping, technical analysis, pattern, piecewise monotone approximation.*

Вступление

Актуальность исследования фондового рынка очень высока для всего мирового сообщества, профильных государственных структур, финансовых корпораций и частных инвесторов.

Научные исследования в этой области динамически развиваются. Первоочередная задача - создать адекватные модели фондового рынка, которые позволят эффективно прогнозировать его будущие состояния. Для решения этой проблемы применялись разные подходы, которые со временем могли подвергаться критике и были либо вовсе отвергнуты, либо усовершенствованы. Развитие теоретических методов анализа рынка происходит одновременно с эволюцией самого финансового рынка, при усложнении его структуры, поэтому многие модели, которые в свое время были признаны хорошими, сейчас могут уже не совсем адекватно отражать фондовый рынок на современном этапе его развития. Именно поэтому, поток новых концепций не прекращается, а становится все более разнообразным, притягивая самые лучшие и свежие идеи науки, в частности новые математические аппараты, интеллектуальные системы принятия решений и современные информационные технологии.

Построение новых математических моделей, позволяющих лучше понять структуру и поведение рынка, как единого целого, так и его составляющих, долгое время привлекали и продолжают привлекать внимание исследователей и практиков.

В данной статье исследуется проблема моделирования динамики цен рыночных активов и их прогнозирования, она является достаточно сложной, и ее нельзя назвать в настоящее время решенной.

Постановка задачи

Принимая решения об инвестициях, финансовый менеджер постоянно оценивает поведение в будущем, как отдельных финансовых активов, так и рынка в целом. Инвестору нужно хотя бы приблизительно представлять картину будущего. Именно поэтому на первый план выдвигается задача оценки состояния и тенденции развития ситуаций на фондовом рынке. С этой целью вся текущая и прошлая финансовая информация тщательно анализируется.

Цель исследования. Создать модель динамики цены, которая позволит делать краткосрочный прогноз, реализовать модель в компьютерную программу, с помощью которой инвестор может принимать решения о сделках покупки\продажи рассматриваемого финансового актива. Провести экспериментальные исследования разработанной программы на реальном рынке ценных бумаг.

Методы исследования. Метод прогнозирования позволяет определить наиболее вероятное направление изменения в сложившейся на текущий момент ситуации, по средствам моделирования временного ряда цены с помощью кусочно-монотонной аппроксимации и последующего преобразования в форму паттерна.

Результати

Предлагаемая модель очень хорошо подходит для применения в скальпинге - торговой стратегии, которая подразумевает большое количество быстрых операций за одну биржевую сессию, и основана на улавливании мелких колебаний цены и фиксации небольшой прибыли/убытка в каждой сделке. Общая прибыль скальпера формируется за счет преобладания числа успешных сделок над неудачными.

При выборе финансового актива скальперу важно сочетание высокой ликвидности и хорошей волатильности. Такими финансовыми активами являются акции наиболее крупных и надежных компаний (голубые фишки), фьючерсы на них и на рыночные индексы, а также популярные валютные фьючерсы.

Инвестору, чтобы принять решение о покупке или продаже финансового актива, необходимо спрогнозировать ***направление*** изменения цены и оценить ожидаемую прибыль/убыток от осуществления таких операций. Перейдем к изложению метода построения прогноза.

В текущий момент времени t строится ценовой коридор в будущее

$$\left(F(t)-A^{-};F(t)+A^{+}\right), \qquad (1)$$

где $F(t)$ - цена финансового актива в момент времени t,

$A^{+},A^{-}>0$ - границы коридора.

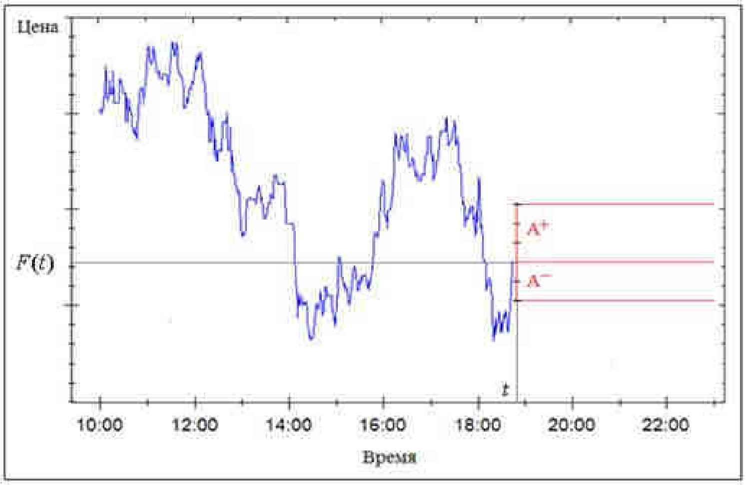

Рис. 1. Ценовой коридор в текущий момент времени t

Обозначим момент первого выхода за границы ценового коридора, как случайную величину $\tau\left(t,A^{+},A^{-}\right)=\inf\left\{u\geq t: F(u)\notin\left(F(t)-A^{-},F(t)+A^{+}\right)\right\}$.

Первая задача исследования состоит в том, чтобы оценить вероятности P^{+}, P^{-} событий $\omega^{+}=\left\{F(\tau)\geq F(t)+A^{+}\right\}$ и $\omega^{-}=\left\{F(\tau)\leq F(t)-A^{-}\right\}$.

Если будем знать вероятности того, что первый выход за границы коридора произойдет вверх P^{+} или вниз P^{-}, тогда при покупке в момент времени t по цене $F(t)$ ожидаемая прибыль/убыток выражается такой величиной $\pi=A^{+}P^{+}-A^{-}P^{-}$.

Достаточно большое по модулю значение $\left|A^{+}P^{+}-A^{-}P^{-}\right|$ может быть сигналом покупки ($\pi>0$) или продажи ($\pi<0$) финансового актива в момент времени t. Т.е., если ожидается рост цены, инвестору выгодно купить финансовый актив в момент времени t по более низкой цене, а затем продать в момент времени τ по более высокой цене, при этом он получит разницу цены $F(\tau)-F(t)$. И наоборот, если ожидается падение цены, инвестору выгодно продать финансовый актив в момент времени t по более высокой цене, а затем купить в момент времени τ по более низкой цене, при этом он получит разницу цены $F(t)-F(\tau)$.

Инвестор принимает решение о покупке или продаже финансового актива в такие моменты времени t, для которых вероятность одного из исходов – рост цены или ее падение - существенно превышает другую вероятность. Считаем, что целесообразно также учесть асимметричность построенного коридора. Поэтому предлагается определить такие ситуации как те, в которых величина $\left|A^{+}P^{+}-A^{-}P^{-}\right|$ больше некоторого порогового значения μ - параметра, задаваемого им исходя из размера биржевой комиссии и некоторых других характеристик рынка.

Итак, чтобы вычислить вероятности P^{+}, P^{-} для текущего момента времени t, предлагается смоделировать динамику цены в ближайшем прошлом (текущую динамику), а затем, анализируя исторические данные о ценах, найти все такие случаи t^{*} с похожей динамикой, и исходя из статистики дальнейшего поведения цены в тех случаях, найти вероятности P^{+} и P^{-}, как частоту событий ω^{+} и ω^{-} выходов за пределы такого же ценового коридора $\left(F(t^{*})-A^{-};F(t^{*})+A^{+}\right)$.

$$P^{+}=\frac{N^{+}}{N^{ALL}} \quad \text{и} \quad P^{-}=\frac{N^{-}}{N^{ALL}}, \qquad (2)$$

где N^{ALL} - количество всех найденных в истории случаев, с динамикой цены похожей на текущую; из них N^{+},N^{-}- количество случаев, в которых произошли события ω^{+} и ω^{-} соответственно.

Предлагаемый подход является разновидностью ***технического анализа***, в том смысле, что для прогнозирования использует только статистику исторических данных о ценах этого финансового актива. Согласно главной аксиоме технического анализа, история повторяется.

Поэтому, *в текущей ситуации* почти наверное *произойдет тот исход, что в прошлом был наиболее вероятен в ситуациях с похожей динамикой*.

Это основное предположение нашей модели. Объяснение этому, по-видимому, можно искать в психологии поведения участников рынка. В аналогичной ситуации колебания цены следует ожидать типичных реакций агентов рынка и значит реализацию того же сценария их поведения, что был наиболее вероятным в прошлом (т.е. такого же соотношения различных типов сделок, осуществляемых всеми агентами рынка). Следовательно, нужно предполагать такое же направление изменения цены, т.к. цена формируется в зависимости от спроса и предложения этих агентов.

Когда же сбывается такой прогноз? В том случае, когда реакции агентов носят устойчивый характер на любом временном интервале. Таким образом, анализируя временной ряд цены, необходимо найти те ситуации, для которых одно из событий ω^{+} и ω^{-} ***устойчиво преобладает*** над другим, и это значит, что перекос между вероятностями P^{+} и P^{-} устойчивый.

Второй важной задачей является, каким же способом смоделировать текущую динамику цены и историческую, и какие же тогда ситуации (случаи) будут считаться аналогичными (похожими). Это можно сделать различными способами. В этом исследовании используем идею Кашина [1] - моделирование динамики осуществляется с помощью ***аппарата теории аппроксимации***, так называемых кусочно-монотонных приближений.

Функция цены и ее аппроксимации определяются на временном интервале $\left[T_0,T_1\right]$ дискретно с выбранным таймфреймом (наиболее подходящие – секунда, минута). Будем обозначать дискретное множество Λ, указывая эквивалентный ему интервал времени $\Lambda \square \left[T_0,T_1\right]$, где $T_0 = \min\{t\in\Lambda\}$, $T_1 = \max\{t\in\Lambda\}$.

Будем говорить, что функция $\varphi_n(t)$ является *кусочно-монотонной порядка* $n\in\square$, если существует конечная последовательность узлов - моментов времени $(t_0,t_1,...,t_n)\in\Lambda:\ T_0=t_0<t_1<...<t_n=T_1$, образующая разбиение множества определения Λ на систему n подмножеств $\left\{\Delta_i \square \left[t_{i-1},t_i\right]\right\}_{i=1}^n$ и $\bigcup_{i=1}^n \Delta_i = \Lambda$, такое что, функция $\varphi_n(t)$ монотонна на каждом интервале $\Delta_i \square \left[t_{i-1},t_i\right]$ и не является таковой на каждой паре соседних интервалов. Эти интервалы времени будем называть ***интервалами монотонности***. [2]

Будем работать с кусочно-монотонной функцией, приближающей исходную немонотонную с заданной точностью ε, обозначим ее $F^{APP}(\varepsilon)$. При таком подходе изначально неважно, какой именно у кусочно-монотонного приближения будет порядок, важна лишь точность этого приближения, которую считаем параметром, задаваемым инвестором в каждом конкретном случае. А порядок $n = N(\varepsilon, F)$ будем считать величиной зависящей от самой функции и точности аппроксимации ε, и называть ***числом тенденций*** функции $F(t)$ на интервале $\left[T_0,T_1\right]$.

Знание величины $N(\varepsilon,F)$ позволяет ответить на вопрос: *сколько раз на временном интервале* $\left[T_0,T_1\right]$ *меняется направление изменения функции* F, *если мы пренебрегаем изменениями на величину, меньшую* ε*?*

Когда F - цена некоторого финансового актива, характеристика $N(\varepsilon,F)$ вполне естественна, ее можно интерпретировать как характеристику изменчивости цены F (на величину $\geq \varepsilon$), т.е. показатель ***волатильности***.

Возможность наблюдать сравнительно большое число тенденций внутри дня - хорошая волатильность, как уже отмечалось ранее, является очень важным условием для нормального применения данного подхода.

При заданной точности ε, будем говорить, что на временном интервале $\Omega_i \square \left[t_{i-1},t_i\right]$ наблюдается ***тенденция роста*** функции F, если функция F от значения к значению увеличивается, остается неизменной или отклоняется вниз от достигнутого локального максимума менее, чем на ε. Аналогично наблюдается ***тенденция падения***, когда функция F на подмножестве $\Omega_i \square \left[t_{i-1},t_i\right]$ от значения к значению уменьшается, остается неизменной или отклоняется вверх от достигнутого локального минимума менее, чем на ε. Таким образом, мы пренебрегаем отклонениями в противоположную от общей тенденции сторону на величины, меньшие ε.

Чтобы вычислить число тенденций, необходимо собственно произвести разбиение множества $\Lambda \square \left[T_0,T_1\right]$, на котором задана F, на систему подмножеств $\left\{\Omega_i \square \left[t_{i-1},t_i\right]\right\}_{i=1}^n,\quad n=N(F,\varepsilon)$, соответствующих тенденциям роста и падения, которые сменяют друг друга, и подсчитать количество этих подмножеств.

Изложим кратко алгоритм такого разбиения и построения некоторой аппроксимирующей кусочно-монотонной функции F^{APP} с произвольным параметром ε для значений цены внутри одного торгового дня.

Имеется массив данных – значения цены $F(t)$ за один полный день работы биржи, которые заданы с открытия T_{open} до закрытия T_{close} торгов дискретно с выбранным таймфреймом $\Lambda \square \left[T_{open},T_{close}\right]$.

Во-первых, последовательно находятся "точки изменения тенденций цены" $(A_0,A_1,...,A_N)\in\Lambda:\ T_{open}\leq A_0<A_1<...<A_N\leq T_{close}$ с помощью функций динамического максимума и минимума, определяемых на интервале от точки a до текущего момента t:

$$F^{MAX}(t) = \max_{a\leq x\leq t} F(x)$$
$$F^{MIN}(t) = \min_{a\leq x\leq t} F(x) \qquad (3)$$

Заметим, что по определению эти функции монотонны.

В начале работы алгоритма $a = T_{open}$ и строятся обе динамические функции. Как только амплитуда колебания функции цены превысит параметр: $F^{MAX}(t) - F^{MIN}(t) \geq \varepsilon$, можно определить первую тенденцию:

- тенденцию роста $tend = "+"$, если минимум достигнут раньше максимума, а это возможно когда текущее значение – локальный максимум $F(t) = F^{MAX}(t)$;

- тенденцию падения $tend = "-"$, если максимум достигнут раньше минимума, а это возможно когда текущее значение – локальный минимум $F(t) = F^{MIN}(t)$;

Сразу же добавляется узел, с которого началась эта тенденция:

$$A_0 = \begin{bmatrix} \min\left\{x\in\left[T_{open};t\right) : F(x) = F^{MIN}(t)\right\}, если \quad tend = "+" \\ \min\left\{x\in\left[T_{open};t\right) : F(x) = F^{MAX}(t)\right\}, если \quad tend = "-" \end{bmatrix}$$

Затем, в зависимости от определенной тенденции – роста или падения, строится динамическая функция максимума (при $tend = "+"$) или минимума (при $tend = "-"$), начиная с последнего найденного узла $a = A_i$.

Сигналом для изменения тенденции является отклонение цены на величину $\geq \varepsilon$ от строящейся функции динамического максимума или минимума в противоположную тенденции сторону – вниз (при $tend = "+"$) или вверх (при $tend = "-"$). В этом случае добавляется новый узел A_{i+1}, таким образом, в зависимости от завершающейся тенденции:

$$A_{i+1}=\begin{bmatrix}\min\left\{x\in\left(A_i;t\right): F(x)=F^{MAX}(t)\right\}, если \quad tend="+"\\ \min\left\{x\in\left(A_i;t\right): F(x)=F^{MIN}(t)\right\}, если \quad tend="-"\end{bmatrix}$$

и с него начиналась противоположная тенденция.

После того, как алгоритм проработает все значения цены до конца дня, необходимо добавить еще последний узел:

$$A_N=\begin{bmatrix}\min\left\{x\in\left(A_{N-1};T_{close}\right]: F(x)=F^{MAX}(t)\right\}, если \quad tend="+"\\ \min\left\{x\in\left(A_{N-1};T_{close}\right]: F(x)=F^{MIN}(t)\right\}, если \quad tend="-"\end{bmatrix}$$

Итак, найдены все "точки изменения тенденций цены" $\left(A_0,A_1,\dots,A_N\right)\in\mathbf{\Lambda}$ причем первая и последняя точка могут совпадать с концами T_{open},T_{close}, а могут быть от них отделены:

$$T_{open}\le A_0<A_1<\dots<A_N\le T_{close}$$

Эти узлы (моменты времени) осуществляют разбиение временной оси $\left[T_{open},T_{close}\right]$ на интервалы тенденций цены $\mathbf{\Omega}_i \square \left[A_{i-1},A_i\right], \quad i=1,\dots,N$, каждому из них присваивается знак наблюдаемой тенденции "+" или "–", знаки будут чередоваться.

Во-вторых, необходимо предъявить аппроксимирующую с точностью ε кусочно-монотонную функцию F^{APP}. Для нее интервалы монотонности $\mathbf{\Delta}_i$ совпадают с интервалами тенденций $\mathbf{\Omega}_i$, исключения могут составлять первый и последний, если интервалы $\left[T_{open},A_0\right]$ и $\left[A_N,T_{close}\right]$ невырожденные:

$$\mathbf{\Delta}_i=\mathbf{\Omega}_i \square \left[A_{i-1},A_i\right], \quad i=2,\dots,N-1$$

$$\mathbf{\Delta}_1 \square \left[T_{open},A_1\right]$$

$$\mathbf{\Delta}_N \square \left[A_{N-1},T_{close}\right]$$

На всех интервалах тенденций $\mathbf{\Omega}_i$ кусочно-монотонную аппроксимацию определим таким образом:

$$F^{APP}(t)=\begin{bmatrix}F^{MAX}{}_{a=A_{i-1}}(t), \quad tend(\mathbf{\Omega}_i)="+"\\ F^{MIN}{}_{a=A_{i-1}}(t), \quad tend(\mathbf{\Omega}_i)="-"\end{bmatrix} \qquad (4)$$

В том случае, если интервалы $\left[T_{open},A_0\right]$ и $\left[A_N,T_{close}\right]$ невырожденные, то на них положим $F^{APP}(t)=F(A_0)$ и $F^{APP}(t)=F(A_N)$ соответственно.

Заметим, что при таком построении во всех узлах достигаются локальные экстремумы цены, поэтому значения аппроксимирующей функции совпадают со значениями цены:

$$F^{APP}(A_i)=F(A_i) \qquad (5)$$

Далее опишем механизм преобразований этих данных в форму паттерна. Нам потребуется понятие подобия двух кусочно-монотонных функций при данной величине погрешности ε.

Пусть заданы две кусочно-монотонные функции:

φ^1_n на интервале $\left[T_0^1,T_1^1\right]$

φ^2_n на интервале $\left[T_0^2,T_1^2\right]$

с участками монотонности соответственно

$\left[t_{i-1}^1,t_i^1\right]$ для $i=1,2,\dots,n$, где $T_0{}^1=t_0{}^1<t_1{}^1<\dots<t_n{}^1=T_1^1$

$\left[t_{i-1}^2,t_i^2\right]$ для $i=1,2,\dots,n$, где $T_0{}^2=t_0{}^2<t_1{}^2<\dots<t_n{}^2=T_1^2$.

Обозначим через $\alpha_i^1=\varphi_n^1\left(t_i^1\right)-\varphi_n^1\left(t_{i-1}^1\right)$ и $\alpha_i^2=\varphi_n^2\left(t_i^2\right)-\varphi_n^2\left(t_{i-1}^2\right)$ для $i=1,2,\dots,n$. Ясно, что по определению кусочно-монотонной функции $\left|\alpha_i^1\right|$ - амплитуда колебания функции φ^1_n на интервале $\left[t_{i-1}^1,t_i^1\right]$, $\left|\alpha_i^2\right|$ - амплитуда колебания функции φ^2_n на интервале $\left[t_{i-1}^2,t_i^2\right]$.

Будем говорить, что функции φ^1_n и φ^2_n принадлежат одному классу подобия при заданных ε и n, если существует набор целых чисел $K_i(\varepsilon)$, $i=1,2,\dots,n$, для которых выполнены одновременно неравенства

$$\begin{gathered}sign\left(\alpha_i^1\right)\cdot K_i\cdot\varepsilon\le\left|\alpha_i^1\right|<sign\left(\alpha_i^1\right)\left(K_i+sign\left(\alpha_i^1\right)\right)\varepsilon\\ sign\left(\alpha_i^2\right)\cdot K_i\cdot\varepsilon\le\left|\alpha_i^2\right|<sign\left(\alpha_i^2\right)\left(K_i+sign\left(\alpha_i^2\right)\right)\varepsilon\end{gathered} \qquad (6)$$

Классы подобия будем называть ***паттернами*** и обозначим $Pattern(\varepsilon,n)=\left\{K_1,K_2,\dots,K_n\right\}$.

С практической точки зрения введенное понятие паттерна весьма наглядно, так как *показывает (с погрешностью меньше ε), на сколько целых кратных числа ε произошло изменение у цены финансового актива на каждом из интервалов монотонности*.

Заметим, что $K_i(\varepsilon) = 0$ возможно только в том случае, когда $n = 1$ и $\max\limits_{[T_0, T_1]} \varphi_n - \min\limits_{[T_0, T_1]} \varphi_n < \varepsilon$.

Вообще говоря, в техническом анализе паттерном (от англ. *pattern* -модель, образец) называются устойчивые повторяющиеся сочетания данных цены, объёма или индикаторов. Анализ паттернов основывается на одной из аксиом технического анализа: «история повторяется» - считается, что повторяющиеся комбинации данных приводят к аналогичному результату.

Аналогиями будем называть такие ситуации (периоды времени) на рынке, где сужения (на Q интервалов) кусочно-монотонных приближений ценовой функции F^{APP} на Λ^1 и F^{APP} на Λ^2 принадлежат к одному классу подобия, т.е. формируют одинаковые Q-элементные паттерны

$$Pattern(\varepsilon, Q) = \{K_1, K_2, \ldots, K_Q\}.$$

Итак, теперь из построенной кусочно-монотонной аппроксимации формируется паттерн, отражающий динамику цены за день количественно. Каждому интервалу монотонности $\Delta_i, \quad i = 1, 2, \ldots, N$ ставится в соответствие целое число $K_i(\varepsilon)$ из определения паттерна, эта формула выводится непосредственно из неравенств (6):

$$K_i(\varepsilon) = \left[\frac{amplituda\left(F^{APP}, \Delta_i\right)}{\varepsilon} \right] \cdot tend\left(\Delta_i\right) \qquad (7)$$

Число имеет знак тенденции. По определению кусочно-монотонной функции, ее амплитуда колебания на интервале монотонности есть разница значений на концах интервала, т.е. в узлах разбиения, поэтому с учетом (5) формулу (7) можно упростить так:

$$K_i(\varepsilon) = \left[\frac{\left|F^{APP}(A_i) - F^{APP}(A_{i-1})\right|}{\varepsilon} \right] \cdot tend\left(\Delta_i\right) =$$

$$= \left[\frac{\left|F(A_i) - F(A_{i-1})\right|}{\varepsilon} \right] \cdot sign\left(F(a_i) - F(a_{i-1})\right)$$

При таком способе моделирования динамики и таком определении понятия аналогий на рынке, существенным оказывается только абсолютное значение изменения цены в период тенденции, а ее длительностью мы пренебрегаем. Также пренебрегаем изменениями на величину, меньшую ε.

Описанный выше алгоритм построения аппроксимации и последующее преобразование данных в форму паттерна инвестор использует на предварительном этапе обработки исторических данных о ценах рассматриваемого им финансового актива. Поэтому его мы называем Postfactum алгоритмом.

В реальном времени работы биржи при построении прогноза, на основании которого инвестор принимает решение, используется динамическая модификация алгоритма аппроксимации, непосредственно для моделирования текущей динамики цены.

Суть предлагаемого метода прогнозирования состоит в поиске аналогий для текущей ситуации (последнего сформированного на текущий момент времени Q -элементного паттерна) в исторических данных цены, которые были предварительно аппроксимированы подобным образом с такой же точностью ε.

В этом on-line алгоритме осуществляется динамическое построение функции F^{APP} на интервале $\left[T_0, t\right]$, т.е. последовательное нахождение “точек изменения тенденций цены” $\left(t_0, t_1, \ldots, t_i\right) \in \Lambda: \quad T_0 = t_0 < t_1 < \ldots < t_i \le t$ и соответствующее разбиение временной оси на интервалы монотонности аппроксимирующей функции $\Delta_i = \Omega_i \square \left[t_{i-1}, t_i\right]$ до текущего момента времени t, и важно то, что значения F^{APP} на этих интервалах могут быть определены только по значениям $F\left(x\right), \quad T_0 \le x \le t$. Для своевременного построения прогноза, необходимо моделировать текущую динамику цены без задержек в реальном времени, поэтому формирование паттерна происходит одновременно с нахождением “точек изменения тенденций цены”. Еще одновременно должен запускаться поиск аналогий в истории для вычисления вероятностей и величины π, на основании которой принимается решение выгодно ли осуществлять сейчас сделку.

Значения цены поступают на вход on-line, с интервалом времени, соответствующим изначально выбранному таймфрейму. В связи с этим, возникает такое отличие от Postfactum алгоритма - если условия алгоритма не выполняются, то автоматический переход на следующее значение цены не происходит, т.к. его пока собственно нет, происходит прерывание алгоритма. Алгоритм запускается заново, как только поступает новое значение цены.

Предлагаемая модель была реализована в компьютерную программу, с помощью которой были проведены экспериментальные исследования.

Программа включает в себя два ключевых алгоритма (Рис. 2):

1. Алгоритм аппроксимации в двух формах:

- Postfactum - для преобразования истории в форму паттерна
- On-line - динамически аппроксимирует текущую динамику цены

2. Алгоритм поиска аналогий в статистике исторических данных.

Рис. 2. Структура программы

Что касается выбора параметров модели, следует учесть следующее. Самое важное, конечно же, выбор приемлемого значения ε - максимальное колебание цены, которым инвестор может пренебречь. Измеряется также как и функция цены – в пунктах или денежных единицах. Важное практическое значение имеет вопрос ***оптимальности*** $\boldsymbol{\varepsilon}$.

Границы коридора A^+, A^- (для удобства измеряются в ε) могут быть симметричными относительно центра или ассиметричными.

Параметр μ - показывает, при каком минимальном ожидаемом колебании цены, инвестор считает для себя целесообразным осуществлять операции, так чтобы прибыль покрывала издержки на их осуществление. По экономическому смыслу μ обязательно должно быть больше точности ε. Значения A^+, A^- необходимо выбирать большими, чем μ, иначе сигнал будет невозможен.

$$\max\left(A^+, A^-\right)\varepsilon \geq \mu \square\ \varepsilon$$

Выбор значений ε, A^+, A^-, μ основывается на экономических соображениях конкретного инвестора для выбранного им финансового актива (в частности зависит от суммы вкладываемых средств).

Можно ввести дополнительные ограничения в модель, имеющие значение для практического применения.

- *Ограничение ценового коридора временным горизонтом* G

Это позволяет проводить исследования для различных временных горизонтов прогнозирования. Если задать G = 24 часа, то это нивелирует действие данного параметра.

Это ограничение важно для инвестора с практической точки зрения, например, при скальперской стратегии, для него существенны вероятности выхода за пределы коридора в ближайшее время, а не просто в течении всего этого дня. В связи с этим появляется также вероятность, того что в течение заданного времени выход за границы коридора не произойдет

$$P^{none} = \frac{N^{none}}{N^{ALL}} \quad . \quad (8)$$

- *Ограничение числа случаев, находимых в истории* $N^{ALL} \leq V$

Поиск в истории осуществляется, начиная с дня, предшествующего рассматриваемому, и все глубже в историю. Тогда имеет смысл ограничить объем выборки последними V такими случаями, если же в истории найдется меньше, чем V случаев, то все они будут участвовать в выборке.

Изменение значения этого параметра позволяет следить за ***устойчивостью перекосов*** между вероятностями, при разных объемах выборки, т.е. для более долгой и более короткой истории.

Экспериментальные исследования подтвердили адекватность модели. С помощью программы для различных финансовых активов был проведен анализ временных рядов.

Эффективный прогноз возможен в краткосрочный период, в частности мы проводили исследования для различных временных горизонтов внутри одного торгового дня. Следует отметить, что полагаться на подобные модели при более длительных прогнозах, чем внутридневные, не рекомендуется, т.к. эффективность поведенческих подходов падает в связи с увеличением времени принятия решения и усилением значимости внешних факторов.

Выводы

Рассмотренную модель можно отнести к классу математико-статистических моделей анализа временного ряда цены некоторого финансового актива.

Подход, примененный для построения прогноза, является разновидностью технического анализа, в том смысле, что для прогнозирования использует только статистику исторических данных о ценах этого финансового актива.

Алгоритм аппроксимации строит кусочно-монотонное приближение и формирует соответствующий ему паттерн. Применение алгоритма позволяет на выходе получить динамику цены в форме ***паттерна*** - знакопеременной последовательности целых чисел, знаки которых означают сменяющие друг друга направления (рост и падение) изменения ценовой функции F, если мы пренебрегаем изменениями на величину меньшую ε, а их абсолютные значения показывают (с погрешностью ε) на сколько целых кратных числа ε выросло или упало значение цены финансового актива на каждом из интервалов монотонности аппроксимирующей функции. Таким образом, этот алгоритм позволяет отчистить массив данных цены финансового актива от зашумляющих колебаний, несущественных для конкретного инвестора, и представить динамику цены в простой и наглядной форме.

Применяя нашу модель, мы убедились, что во многих случаях эффективный прогноз возможен. Приведенный вывод об эффективном прогнозировании подтверждается статистическими данными вероятностей, полученными в результате экспериментов. Устойчивый характер перекосов между вероятностями подтвержден для небольшой коллекции паттернов. В перспективе можно было бы внедрить в программу нейронную сеть, которая бы в течение некоторого продолжительного периода находила ба такие паттерны и пополняла коллекции, для каждого набора параметров. А впоследствии еще смогла бы решить вопрос об оптимальности этих параметров.

Вообще говоря, применять указанный подход и другие подобные ему подходы, использующие только анализ временного ряда цены, можно только в условиях стационарности фондового рынка. Экстраординарные условия, такие как резкие структурные и качественные изменения рынка (например, введение новых правил на бирже), существенные изменения микро- и макроэкономических факторов, которые имеют доминирующее влияние на статус рассматриваемого финансового актива, могут и должны стать причиной для отказа от применения таких подходов.

Предложенную модель целесообразно учитывать при построении адекватных моделей фондового рынка, возможно сделав её составляющей частью обобщенной модели, которая сможет учитывать, кроме статистического анализа прошлой динамики цены, влияние на финансовый актив внешних факторов - алертов.

Результаты работы были изложены на VII Всеукраинской научно-практической конференции «Компьютерное моделирование и информационные системы в науке, экономике и образовании».

Литература.

1. Кашин Б.С., Пастухов С.В. О краткосрочном прогнозировании на рынке ценных бумаг // Доклады РАН, 2002, том 387, №6, с.754-756.
2. Севастьянов Е.А. Кусочно-монотонная аппроксимация и Ф-вариации // Anal.Math.1975. V.1. №2. p.141-164.

Стаття надійшла до редакції 05.08.2011 р.