Advances in Applied Mathematics 应用数学进展, **2018, 7(10), 1225-1232**
Published Online October 2018 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/aam
https://doi.org/10.12677/aam.2018.710142

Hans汉斯

Option Pricing Formula for a New Stock Model

Yuanyuan Zhang, Cuilian You

College of Mathematics and Information Science, Hebei University, Baoding Hebei
Email: zyy19910129@163.com, yyccllan@163.com

Received: Oct. 1st, 2018; accepted: Oct. 15th, 2018; published: Oct. 22nd, 2018

Abstract

The option pricing problem is one of central contents in modern finance. Black and Scholes assume that the fluctuation of stock price conforms to geometric Brownian motion, and then establishes stochastic financial mathematics on this basis. However, the uncertainties in the uncertain environment are not only random but also fuzzy, so it is necessary to study the fuzzy financial market. Based on the credibility theory, this paper discusses the case that the execution price of an option satisfies a diffusion process, and obtains the option pricing formula of this new stock model.

Keywords

Fuzzy Process, Liu Process, Stock Model, Fuzzy Differential Equation, Option Pricing

一种新的股票模型的期权定价公式

张元元，尤翠莲

河北大学数学与信息科学学院，河北 保定
Email: zyy19910129@163.com, yyccllan@163.com

收稿日期：2018年10月1日；录用日期：2018年10月15日；发布日期：2018年10月22日

摘 要

期权定价问题是现代金融的中心内容之一，Black和Scholes假设股票价格的波动符合几何布朗运动，随后在此基础上建立了随机金融数学，但是不确定环境中的不确定因素除了随机性还有模糊性，因此有必要对模糊金融市场进行研究。本文借助可信性理论，讨论了期权中的执行价格满足一扩散过程的情况，得出了该种新的股票模型的期权定价公式。

文章引用: 张元元, 尤翠莲. 一种新的股票模型的期权定价公式[J]. 应用数学进展, 2018, 7(10): 1225-1232.
DOI: 10.12677/aam.2018.710142

关键词

模糊过程，Liu过程，模糊微分方程，股票模型，期权定价

1. 引言

1965 年 Zadeh [1]通过隶属函数提出模糊集合的概念，模糊集理论被广泛应用于实践。之后 Zadeh [2]为了度量一个模糊事件提出了可能性测度，后发展成为可能性理论。在此基础上，人们开始尝试将模糊理论应用于金融领域，试图用来描绘金融领域中的不确定因素。在 20 世纪七十年代早期，Black 和 Scholes [3]在假设股票价格遵循几何布朗运动的基础上，得出了期权的价格公式。Metron [4]又对 Black-Scholes 公式进行了推广。Black-Scholes 公式在当今的金融市场实践中已经成为了一种独立的工具，但经典的 Black-Scholes 期权定价模型是一种随机数学模型，除了随机性之外，模糊性也是金融市场中不确定性的一个重要特征。现实生活中的信息不对称，风险主观，客观偏向不同等原因，使得人们对未来状况的估计总是带有不确定因素，这样就不能完全用随机性来解释，模糊理论的出现为解决这类问题提供了基础。

Liu 和 Liu [5]在 2002 年提出了可信性测度的概念。之后，Li 和 Liu [6]给出了可信性测度的充要条件。Liu [7]在 2004 年建立了可信性理论，之后 Liu [8]在 2007 年完善了这一理论，随后这一理论成为了研究模糊现象的一个数学分支。为了描述动态模糊现象，Liu [9]提出了模糊环境下布朗运动的对应概念——Liu 过程，并给出 Liu 微分定义和 Liu 积分的定义，它们分别对应 Ito 微分和 Ito 积分。有关 Liu 过程方面，学者们做了大量的研究，You，Huo 和 Wang [10]将 Liu 过程，Liu 积分，Liu 公式推广到多维情形。You 和 Wang [11]介绍了模糊积分存在的三个条件和三类模糊积分性质。You，Ma 和 Huo [12]给出了一类广义 Liu 积分的定义，并且还得到了这种积分的性质和判别定理[13] [14]。此外，Dai 证明了 Liu 过程是 Lipschitz 连续且具有有限变差。Kaleva [15]，Kaleva [16]和 Ding，Ma 和 Kandel [17]对传统的模糊微分方程进行了研究。这些模糊微分方程实际上是带有模糊参数的微分方程。Liu [9]定义了一种新的模糊微分方程：

$$\mathrm{d}X_t = f\left(t, X_t\right)\mathrm{d}t + g\left(t, X_t\right)\mathrm{d}C_t,$$

其中 C_t 是标准 Liu 过程， f, g 是给定函数。这种方程的解是一个模糊过程。后来，Chen 和 Qin [18]证明了在 Lipschitz 条件和线性增长条件下的上述模糊微分方程的解，得存在唯一性定理。

假设股票价格遵循几何 Liu 过程，Liu 建立了模糊股票模型(Liu 股票模型)。在此基础之上，Qin 和 Li [19] [20]用可信性理论得出了 Liu 股票模型的欧式期权的定价公式，并给出了 MATLAB 求模糊期权价格的算法。Gao 和 Chen [21]建立了时变利率、时变股票漂移和时变股票扩散的广义股票模型。Gao 和 Gao [22]提出了一种新的股票模型，它类似于 Black-Karasiski 模型，并给出了欧式期权的价格公式。Peng [23]也给出了一个更一般的模糊金融市场模型，进一步扩展了 Gao 的股票模型，该模型的求解更为复杂，不能直接应用于金融市场期权定价。

期权价格问题在金融市场中是一个基本问题，随着金融市场的日益发展，为满足广大投资者的需求，金融机构运用期权理论和分析方法设计出来了越来越多新期权。以前讨论的问题中，执行价格都为一固

定值，本文讨论的是一类期权定价问题，其执行价格满足一扩散过程，例如，一种股票转换成另外一种股票的期权。

本文的其余内容组织如下，接下来的部分中，回顾了模糊过程的一些基本概念和性质。在第三节中，我们提出了一种新的模糊期权模型及其公式定义。第四节中，我们给出了基于模型的欧式看涨期权定价公式和第五节中，我们给出了基于模型的欧式看跌期权的期权定价公式。最后给出简要的总结。

2. 预备知识

定义 1： (Liu [6]) (可信性反演定理)令 ξ 是一个隶属函数为 μ 的模糊变量，对任何实数集 B，有

$$\mathrm{Cr}\{\xi \in B\} = \frac{1}{2}\left(\sup_{x\in B}\mu(x) + 1 - \sup_{x\in B^c}\mu(x)\right).$$

定义 2： (Liu [6])若对任意 Borel 集 $B_1, B_2, \cdots, B_m$ 都有下式成立

$$\mathrm{Cr}\left\{\bigcap_{i=1}^{m}\{\xi_i \in B_i\}\right\} = \min_{1\le i\le m}\mathrm{Cr}\{\xi_i \in B_i\},$$

则称模糊变量 $\xi_1, \xi_2, \cdots, \xi_n$ 是相互独立的。

定义 3： (Liu [6])设 T 是一指标集，(Θ, P, Cr) 是一可信性空间，那么一个从 $T \times (\Theta, P, \mathrm{Cr})$ 到实数集的函数称为一个模糊过程。

换句话说，模糊过程 $X(t;\theta)$ 是一个有两个变量的函数，对于任意 $t^* \in T$，函数 $X(t^*;\theta)$ 是一个模糊变量，函数 $X(t;\theta^*)$ 被称为模糊过程的样本路径。如果对于所有 $\theta \in \Theta$，样本路径是连续的，那么模糊过程 $X(t;\theta)$ 称为样本连续。下文中我们使用符号 X_t 来代替较长符号 $X(t;\theta)$。

定义 4： (Liu [6])对任意时间 $t_0 < t_1 < \cdots < t_k$，如果

$$X_{t_1} - X_{t_0}, X_{t_2} - X_{t_1}, \cdots, X_{t_k} - X_{t_{k-1}}$$

是独立的模糊变量，那么称模糊过程 X_t 具有独立增量。

对于任意给定的 $t > 0$，当 $s > 0$ 时，$X_{s+t} - X_s$ 是同分布模糊变量，那么称模糊过程 X_t 具有平稳增量。

定义 5： (Liu [6]) 模糊过程 C_t 称作 Liu 过程，如果

1) $C_0 = 0$，
2) C_t 具有平稳独立增量，
3) 任意增量 $C_{t+s} - C_s$ 是正态分布模糊变量，即期望为 et，方差为 $\delta^2 t^2$，隶属函数为

$$\mu(x) = 2\left(1 + \exp\left(\frac{\pi|x - et|}{\sqrt{6}\delta t}\right)\right)^{-1}, x \in \Re,$$

其中参数，e 是漂移系数，δ 是扩散系数，若 $e = 0, \delta = 1$，则称其为标准 Liu 过程。

定义 6： (Liu [6])设 C_t 为标准 Liu 过程，$et + \delta C_t$ 为 Liu 过程，则模糊过程

$$X_t = \exp(et + \delta C_t)$$

称为几何 Liu 过程。

定理 2： (Liu [6])设 C_t 为标准 Liu 过程，$h(t,c)$ 是连续可微函数，令 $X_t = h(t, C_t)$，那么我们有下面的链式规则

$$\mathrm{d}X_t = \frac{\partial h}{\partial t}(t, C_t)\mathrm{d}t + \frac{\partial h}{\partial c}(t, C_t)\mathrm{d}C_t.$$

传统上，一般假定股票价格遵循几何布朗运动，而随机金融数学就是建立在这一假设之上。随着模糊过程以及模糊运算的引入，Liu 提出了另一种假设，即股票价格服从几何 Liu 过程。基于这一假设，期权定价，最优停时，最优投资组合选择等均可重新考虑，因此产生了一种全新的模糊金融数学理论。Liu 提出了模糊金融市场的基本股票模型，其中债券价格 B_t 和股票价格 S_t 可表达为

$$\begin{cases} B_t = B_0 \exp(rt) \\ S_t = S_0 \exp(et + \delta C_t) \end{cases}$$

或者

$$\begin{cases} \mathrm{d}B_t = rB_t \mathrm{d}t \\ \mathrm{d}S_t = eS_t \mathrm{d}t + \delta S_t \mathrm{d}C_t \end{cases}$$

其中 r 是无风险利率，e 是股票漂移系数，δ 是股票的扩散系数。

3. 一种新的模糊股票模型

假设在模糊金融市场模糊股票价格遵循几何 Liu 过程，Liu 给出了股票价格模型。此模型恰为 Black-Scholes 模型在模糊金融市场中的对应模型。

在本文中，假设执行价格也满足一扩散过程，比如是将一种股票转换成另一种股票的期权。考虑两个非负债公司之间的股票转换问题。公司 A 投标实力较弱的公司 B 的股份，例如，当公司 B 的股票价格 $S_B = \$30$ 时，公司 A 根据自己公司股票的当前价格 $S_A = \$50$ 作为发盘价格。公司 B 的股份持有者获得了将一种资产转换成另一种资产的期权。买入期权的执行价格是公司 B 的股票，它是一模糊变量，并且两种股票是相互独立的。

设 t 时刻无风险债券的价格记为 B_t，两种股票的价格满足几何 Liu 过程，分别记为 S_t, Y_t，投资组合模型如下

$$\begin{cases} \mathrm{d}B_t = rB_t \mathrm{d}t \\ \mathrm{d}S_t = e_1 S_t \mathrm{d}t + \delta_1 S_t \mathrm{d}C_{1t} \\ \mathrm{d}Y_t = e_2 Y_t \mathrm{d}t + \delta_2 Y_t \mathrm{d}C_{2t} \end{cases} \tag{3.1}$$

这里 r 是无风险利率，e_1, e_2 是两种股票的漂移系数，δ_1, δ_2 是两种股票的扩散系数，C_{1t} 和 C_{2t} 是标准 Liu 过程。

4. 欧式看涨期权定价公式

欧式看涨期权是赋予持有者在规定时间内以一定价格买入股票的一种权利，但不是义务。在这节中我们考虑欧式买入期权的执行价格符合几何 Liu 过程的情况。

在模型(3.1)中我们假设欧式买入期权有执行价格 Y_T 和到期时间 T。如果 S_T 是最终股票价格，其作为发盘价格，那么欧式买入期权的回报为 $(S_T - Y_T)^+$。考虑到货币的时间价值，这个回报的现值为 $\exp(-rT)(S_T - Y_T)^+$.

定义 7：股票模型(3.1)中的欧式看涨期权价格 f 定义为

$$\begin{aligned} & f(S_0, Y_0, e_1, e_2, \delta_1, \delta_2, r) \\ &= \exp(-rT) E\left[S_0 \exp(e_1 T + \delta_1 C_{1T}) - Y_0 \exp(e_2 T + \delta_2 C_{2T})^+ \right]. \end{aligned} \tag{4.1}$$

为了计算出欧式期权价格，通过可信性理论我们可以推导出如下的欧式期权看涨价格公式

定理 3：股票模型(3.1)中的欧式看涨期权价格可由下式给出

$$\begin{aligned}&f\left(S_0,Y_0,e_1,e_2,\delta_1,\delta_2,r\right)\\&=S_0\exp\left(\left(e_1-r\right)T\right)\int_0^{+\infty}\left(1+x^{\pi/\sqrt{6}\delta_1T}\right)^{-1}\mathrm{d}x\\&\quad-Y_0\exp\left(\left(e_2-r\right)T\right)\int_0^{+\infty}\left(1+x^{\pi/\sqrt{6}\delta_2T}\right)^{-1}\mathrm{d}x.\end{aligned}$$

证明：由模糊变量的期望值定义我们有

$$\begin{aligned}&f\left(S_0,Y_0,e_1,e_2,\delta_1,\delta_2,r\right)\\&=\exp(-rT)E\left[S_0\exp\left(e_1T+\delta_1C_{1T}\right)-Y_0\exp\left(e_2T+\delta_2C_{2T}\right)^+\right]\\&=\exp(-rT)\left\{E\left[S_0\exp\left(e_1T+\delta_1C_{1T}\right)-E\left[Y_0\exp\left(e_2T+\delta_2C_{2T}\right)\right]\right]\right\}\\&=S_0\exp(-rT)\int_0^{+\infty}\mathrm{Cr}\left\{\exp\left(e_1T+\delta_1C_{1T}\right)\ge x\right\}\mathrm{d}x\\&\quad-Y_0\exp(-rT)\int_0^{+\infty}\mathrm{Cr}\left\{\exp\left(e_2T+\delta_2C_{2T}\right)\ge x\right\}\mathrm{d}x\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&=S_0\exp(-rT)\int_0^{+\infty}\mathrm{Cr}\left\{C_{1T}\ge\frac{\ln x-e_1T}{\delta_1}\right\}\mathrm{d}x\\&\quad-Y_0\exp(-rT)\int_0^{+\infty}\mathrm{Cr}\left\{C_{2T}\ge\frac{\ln x-e_2T}{\delta_2}\right\}\mathrm{d}x\\&=S_0\exp(-rT)\int_0^{\exp(e_1T)}\left[1-\frac{1}{2}\sup_{y<\frac{\ln x-e_1T}{\delta_1}}u(y)\right]\mathrm{d}x\\&\quad+S_0\exp(-rT)\int_{\exp(e_1T)}^{+\infty}\left[\frac{1}{2}\sup_{y\ge\frac{\ln x-e_1T}{\delta_1}}u(y)\right]\mathrm{d}x\\&\quad-Y_0\exp(-rT)\int_0^{\exp(e_2T)}\left[1-\frac{1}{2}\sup_{y<\frac{\ln x-e_2T}{\delta_2}}u(y)\right]\mathrm{d}x\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&-Y_0\exp(-rT)\int_{\exp(e_2T)}^{+\infty}\left[\frac{1}{2}\sup_{y\ge\frac{\ln x-e_2T}{\delta_2}}u(y)\right]\mathrm{d}x\\&=S_0\exp(-rT)\int_0^{\exp(e_1T)}1-\left(1+\exp\left(\frac{\pi\left(e_1T-\ln x\right)}{\sqrt{6}\delta_1T}\right)\right)^{-1}\mathrm{d}x\\&\quad+S_0\exp(-rT)\int_{\exp(e_1T)}^{+\infty}\left(1+\exp\left(\frac{\pi\left(\ln x-e_1T\right)}{\sqrt{6}\delta_1T}\right)\right)^{-1}\mathrm{d}x\\&\quad-Y_0\exp(-rT)\int_0^{\exp(e_2T)}1-\left(1+\exp\left(\frac{\pi\left(e_2T-\ln x\right)}{\sqrt{6}\delta_2T}\right)\right)^{-1}\mathrm{d}x\\&\quad-Y_0\exp(-rT)\int_{\exp(e_2T)}^{+\infty}\left(1+\exp\left(\frac{\pi\left(\ln x-e_2T\right)}{\sqrt{6}\delta_2T}\right)\right)^{-1}\mathrm{d}x\end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
&= S_0 \exp(-rT)\int_0^{+\infty} \frac{\exp\left(\pi e_1/\sqrt{6}\delta_1 T\right)}{\exp\left(\pi e_1/\sqrt{6}\delta_1 T\right)+x^{\pi/\sqrt{6}\delta_1 T}}\mathrm{d}x \\
&\quad - Y_0 \exp(-rT)\int_0^{+\infty} \frac{\exp\left(\pi e_2/\sqrt{6}\delta_2 T\right)}{\exp\left(\pi e_2/\sqrt{6}\delta_2 T\right)+x^{\pi/\sqrt{6}\delta_2 T}}\mathrm{d}x \\
&= S_0 \exp\left((e_1-r)T\right)\int_0^{+\infty}\left(1+x^{\pi/\sqrt{6}\delta_1 T}\right)^{-1}\mathrm{d}x \\
&\quad - Y_0 \exp\left((e_2-r)T\right)\int_0^{+\infty}\left(1+x^{\pi/\sqrt{6}\delta_2 T}\right)^{-1}\mathrm{d}x
\end{aligned}
$$

定理得证。

例 4.1:假设公司 A 初始股票价格为 $S_0 = 30$，无风险利率 r 为 8%，股票漂移系数 $e_1 = 6\%$，股票扩散 $\delta_2 = 25\%$，在到期时间三个月后的公司 B 的股票价格即执行价格为 $Y_0 = 28$，该公司 B 股票的漂移系数和扩散系数分别为 $e_2 = 5\%, \delta_2 = 20\%$。为了计算该欧式看涨期权的价格，在使用以下 MATLAB 代码：

```
syms   x;
y = '30*exp((0.06-0.08)*0.25)./(1+x^(pi./sqrt(6)*0.25*0.25)))
    -28*exp((0.05-0.08)*0.25)./(1+x^(pi./sqrt(6)*0.2*0.25)))';
f = quad(y,0,100)
```

得出欧式看涨期权的定价为 2.1069。

5. 欧式看跌期权定价公式

欧式看跌期权是赋予持有者在规定时间内以一定价格卖出股票的一种权利，但不是义务。

在模型(3.1)中我们假设欧式卖出期权有执行价格 Y_T 和到期时间 T，如果 S_T 最终标的股票价格其作为发盘价格，那么欧式卖出期权的回报为 $(Y_T - S_T)^+$。同样，我们可以得到欧式看跌期权价格公式如下

定义 8：股票模型(3.1)中的欧式看跌期权价格 f 定义为

$$
\begin{aligned}
& f\left(S_0, Y_0, e_1, e_2, \delta_1, \delta_2, r\right) \\
&= \exp(-rT) E\left[Y_0 \exp\left(e_2 T + \delta_2 C_{2T}\right) - S_0 \exp\left(e_1 T + \delta_1 C_{1T}\right)^+\right].
\end{aligned} \tag{4.2}
$$

定理 4：股票模型(3.1)中的欧式看涨期权价格公式如下

$$
\begin{aligned}
& f\left(S_0, Y_0, e_1, e_2, \delta_1, \delta_2, r\right) \\
&= Y_0 \exp\left((e_2-r)T\right)\int_0^{+\infty}\left(1+x^{\pi/\sqrt{6}\delta_2 T}\right)^{-1}\mathrm{d}x \\
&\quad - S_0 \exp\left((e_1-r)T\right)\int_0^{+\infty}\left(1+x^{\pi/\sqrt{6}\delta_1 T}\right)^{-1}\mathrm{d}x.
\end{aligned}
$$

证明：由模糊变量的期望值定义我们有

$$
\begin{aligned}
& f\left(S_0, Y_0, e_1, e_2, \delta_1, \delta_2, r\right) \\
&= \exp(-rT) E\left[Y_0 \exp\left(e_2 T + \delta_2 C_{2T}\right) - S_0 \exp\left(e_1 T + \delta_1 C_{1T}\right)^+\right] \\
&= \exp(-rT)\left\{E\left[Y_0 \exp\left(e_2 T + \delta_2 C_{2T}\right)\right] - E\left[S_0 \exp\left(e_1 T + \delta_1 C_{1T}\right)\right]\right\} \\
&= Y_0 \exp(-rT)\int_0^{+\infty} \mathrm{Cr}\left\{\exp\left(e_2 T + \delta_2 C_{2T}\right) \ge x\right\}\mathrm{d}x \\
&\quad - S_0 \exp(-rT)\int_0^{+\infty} \mathrm{Cr}\left\{\exp\left(e_1 T + \delta_1 C_{1T}\right) \ge x\right\}\mathrm{d}x
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&= Y_0 \exp(-rT)\int_0^{+\infty} \mathrm{Cr}\left\{C_{2T} \ge \frac{\ln x - e_2 T}{\delta_2}\right\}\mathrm{d}x \\
&\quad - S_0 \exp(-rT)\int_0^{+\infty} \mathrm{Cr}\left\{C_{1T} \ge \frac{\ln x - e_1 T}{\delta_1}\right\}\mathrm{d}x \\
&= Y_0 \exp(-rT)\int_0^{\exp(e_2T)} \left[1-\frac{1}{2}\sup_{y<\frac{\ln x - e_2T}{\delta_2}} u(y)\right]\mathrm{d}x \\
&\quad + Y_0 \exp(-rT)\int_{\exp(e_2T)}^{+\infty} \left[\frac{1}{2}\sup_{y\ge\frac{\ln x - e_2T}{\delta_2}} u(y)\right]\mathrm{d}x \\
&\quad - S_0 \exp(-rT)\int_0^{\exp(e_1T)} \left[1-\frac{1}{2}\sup_{y<\frac{\ln x - e_1T}{\delta_1}} u(y)\right]\mathrm{d}x \\
&\quad - S_0 \exp(-rT)\int_{\exp(e_1T)}^{+\infty} \left[\frac{1}{2}\sup_{y\ge\frac{\ln x - e_1T}{\delta_1}} u(y)\right]\mathrm{d}x \\
&= Y_0 \exp(-rT)\int_0^{+\infty} \frac{\exp\left(\pi e_2 / \sqrt{6}\delta_2 T\right)}{\exp\left(\pi e_2 / \sqrt{6}\delta_2 T\right) + x^{\pi/\sqrt{6}\delta_2 T}}\mathrm{d}x \\
&\quad - S_0 \exp(-rT)\int_0^{+\infty} \frac{\exp\left(\pi e_1 / \sqrt{6}\delta_1 T\right)}{\exp\left(\pi e_1 / \sqrt{6}\delta_1 T\right) + x^{\pi/\sqrt{6}\delta_1 T}}\mathrm{d}x \\
&= Y_0 \exp\left((e_2 - r)T\right)\int_0^{+\infty}\left(1 + x^{\pi/\sqrt{6}\delta_2 T}\right)^{-1}\mathrm{d}x \\
&\quad - S_0 \exp\left((e_1 - r)T\right)\int_0^{+\infty}\left(1 + x^{\pi/\sqrt{6}\delta_1 T}\right)^{-1}\mathrm{d}x.
\end{aligned}
$$

例 5.1：假设公司 A 初始股票价格为 $S_0 = 30$，无风险利率 r 为 8%，股票漂移系数 $e_1 = 6\%$，股票扩散 $\delta_2 = 25\%$，在到期时间三个月后的公司 B 的股票价格即执行价格为 $Y_0 = 32$，该公司 B 股票的漂移系数和扩散系数分别为 $e_2 = 5\%, \delta_2 = 20\%$。为了计算该欧式看涨期权的价格，在使用以下 MATLAB 代码：

```
syms    x;
y = '32*exp((0.05-0.08)*0.25)./(1+x^(pi./sqrt(6)*0.2*0.25)))
    -30*exp((0.06-0.08)*0.25)./(1+x^(pi./sqrt(6)*0.25*0.25)))';
f = quad(y,0,100)
```

得出欧式看涨期权的定价为 1.8731。

6. 结论

在本文中，我们提出了一个新的模糊股票模型，与之前的各种股票模型不同之处在于这种股票模型中执行价格满足一扩散过程，然后给出了该模型的欧式看涨期权和看跌期权价格公式。

基金项目

国家自然科学基金(No. 61773150)资助。

参考文献

[1] Zadeh, L.A. (1965) Fuzzy Sets. *Information and Control*, **8**, 338-353. https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X

[2] Zadeh, L.A. (1978) Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, **1**, 3-28. https://doi.org/10.1016/0165-0114(78)90029-5

[3] Black, F. and Scholes, M. (1973) The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, **81**, 637-645. https://doi.org/10.1086/260062

[4] Merton, R. (1973) Theory of Rational Option Pricing. *Bell Journal Economics & Management Science*, **4**, 141-183. https://doi.org/10.2307/3003143

[5] Liu, B. and Liu, Y. (2002) Expected Value of Fuzzy Variable and Fuzzy Expected Value Models. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, **10**, 445-450. https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2002.800692

[6] Li, X. and Liu, B. (2006) A Suffient and Necessary Condition for Credibility Measures. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness & Knowledge-Based Systems*, **14**, 527-535. https://doi.org/10.1142/S0218488506004175

[7] Liu, B. (2004) Uncertainty Theory. Springer-Verlag, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-540-39987-2

[8] Liu, B. (2007) Uncertainty Theory. 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73165-8_5

[9] Liu, B. (2008) Fuzzy Process, Hybrid Process and Uncertain Process. *Journal of Uncertain Systems*, **2**, 3-16.

[10] You, C., Huo, H. and Wang, W. (2013) Multi-Dimensional Liu Process, Differential and Integral. *East Asian Mathematical Journal*, **29**, 13-22. https://doi.org/10.7858/eamj.2013.002

[11] 尤翠莲, 王根森. 一种新的模糊积分的性质[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2011, 31(4): 337-340.

[12] You, C., Ma, H. and Huo, H. (2016) A New Kind of Generalized Fuzzy Integrals. *Journal of Nonlinear Science and Applications*, **3**, 1396-1402. https://doi.org/10.22436/jnsa.009.03.63

[13] Dai, W. Lipschitz Continuity of Liu Process. http://orsc.edu.cn/process/080831.pdf,2008

[14] Dai, W. (2007) Reflection Principle of Liu Process. http://orsc.edu.cn/process/071110.pdf,2007

[15] Kaleva, O. (1987) Fuzzy Differential Equations. *Fuzzy Sets and Systems*, **24**, 301-317. https://doi.org/10.1016/0165-0114(87)90029-7

[16] Kaleva, O. (1990) The Cauchy Problem for Fuzzy Differential Equations. *Fuzzy Sets and Systems*, **35**, 389-396. https://doi.org/10.1016/0165-0114(90)90010-4

[17] Ding, Z., Ma, M. and Kandel, A. (1999) Existence of the Solutions of Fuzzy Differential Equations with Parameters. *Information Sciences*, **99**, 205-217. https://doi.org/10.1016/S0020-0255(96)00279-4

[18] Chen, X. and Qin, Z. (2011) A New Existence and Uniquencess Theorem for Fuzzy Differential Equation. *International Journal of Fuzzy Systems*, **13**, 148-151.

[19] Qin, Z. and Li, X. (2008) Option Pricing Formula for Fuzzy Financial Market. *Journal of Uncertain Systems*, **1**, 17-21.

[20] Qin, Z. and Li, X. Fuzzy Calculus for Finance. http://orsc.edu.cn/process/fc.pdf,2008

[21] Gao, X. and Chen, X. Option Pricing Formula for Generalized Stock Models. http://orsc.edu.cn/process/080317.pdf,2008

[22] Gao, J. and Gao, X. (2008) Credibilistic Option Pricing's New Model. *Journal of Uncertain Systems*, **4**, 243-247.

[23] Peng, J. (2008) A General Stock Model for Fuzzy Markets. *Journal of Uncertain Systems*, **4**, 248-254.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD
   下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2324-7991，即可查询
2. 打开知网首页 http://cnki.net/
   左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：http://www.hanspub.org/Submission.aspx
期刊邮箱：aam@hanspub.org