

基于 ARIMA 和综合评价方法的投资组合研究 ——以黄金和比特币为例

黄丽珊

(华南师范大学 数学科学学院, 广东 广州 510631)

摘要: 文章根据 2016 至 2021 年黄金和比特币收盘价数据, 从收益与风险两个角度出发, 建立了一种基于 ARIMA 和风险评估的组合投资综合评价模型, 同时结合投资人的主观投资意愿, 提出了一种考虑交易成本的投资策略, 以实现高回报的组合投资。结果表明, 黄金与比特币的风险时间上大致相抵; 在初始只持有一千美元现金和佣金比例一定等条件下, 五年投资的最终总资产约为 1 697.74 万美元, 收益率为 1 697 640%。实测分析中的总资产约为 53.26 亿美元, 约是预测时的 314 倍。

关键词: 牛市 - 熊市模型; ARIMA; 综合评价; 投资组合

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 2096-4706 (2022) 23-0098-05

Research on Investment Portfolio Based on ARIMA and Comprehensive Evaluation Method —Taking the Gold and Bitcoin as an Example

HUANG Lishan

(School of Mathematical Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: According to the closing price data of gold and Bitcoin from 2016 to 2021, this paper establishes a comprehensive evaluation model of portfolio investment based on ARIMA and risk assessment from the perspectives of income and risk. At the same time, combined with subjective will of investors, this paper proposes an investment strategy that considers transaction cost to achieve high-return portfolio investments. The results show that the risk time of gold and Bitcoin can be roughly offset. Under the conditions of only \$1,000 initial cash and a certain ratio of commission, the final total assets of five-year investment is about \$16.977 4 million, and the return rate is 1 697 640%. The total assets in the measured analysis are about \$5.326 billion, which is about 314 times of the forecast.

Keywords: Bull-Bear Model; ARIMA; comprehensive evaluation; investment portfolio

0 引言

投资组合理论由 Markowitz^[1] 在 1952 年首次提出。Markowitz 基于最优化的思想, 对风险和收益进行量化, 建立了均值方差模型, 以确定最佳的资产组合。此后不断有学者延续并发展这一理论, 例如 William Sharp 等人^[2] 提出了资本资产定价模型, 以及 Fisher Black 和 Robert Litterman^[3, 4] 提出了 Black-Litterman 资产配置模型等。在现实中, 投资者常常需要不断调整投资策略以获得最大的收益。这时就需要将投资组合选择问题转化为多阶段或者动态的投资过程。例如 Mossin^[5] 最先用动态规划的方法将 Markowitz 的单阶段模型推广到多阶段情况。但这些方法由于计算复杂, 面对大规模的投资组合问题往往不十分有效。因此, 本文设计了一种基于 ARIMA 和风险评估的综合评价方法, 既可以方便拓展为多阶段投资, 也可以减少计算资源的消耗。

1 模型构建

本文以黄金和比特币两种资产为研究对象, 根据 2016 至 2021 年的收盘价数据, 综合考虑收益与风险, 建立了一

种组合投资的综合评价模型, 同时通过效用感知指标和风险感知指标来衡量投资人的主观投资意愿, 提出了一种考虑交易成本的投资策略, 以实现高回报的组合投资。其中, 组合资产评估模型分为风险评估模型和 ARIMA 价格预测模型两个部分。模型的流程图如图 1 所示。

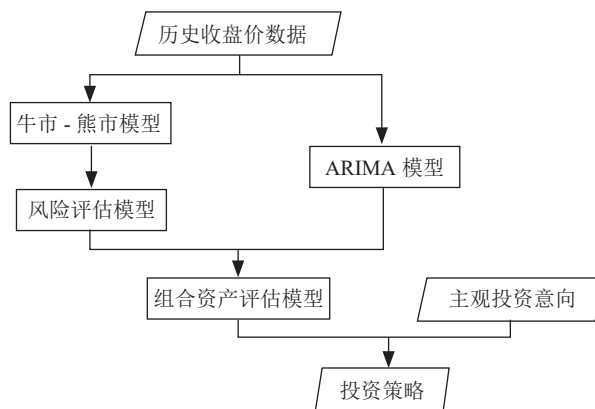


图 1 投资策略的构建过程

1.1 风险评估模型的构建过程

交易员在进行投资时, 不仅要争取投资回报的最大化,

往往还要考虑交易中存在的风险。本文假设数据中的收盘价为交易中的实际价格，使用价格的 n 日涨幅和乖离率来描述投资的风险。 n 日涨幅是指资产价格涨跌的幅度，其公式如式 (1) 和式 (2)：

$$\text{Increase}_t = \frac{\text{Close}_t - \text{Close}_{t-1}}{\text{Close}_{t-1}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\overline{\text{Increase}}_{n,t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Increase}_{t-i} \quad (2)$$

其中， Increase_t 表示第 t 个交易日的价格涨幅， Close_t 表示第 t 个交易日的收盘价， $\overline{\text{Increase}}_{n,t}$ 表示第 t 个交易日前 n 日的移动平均涨幅。

n 日乖离率 $\text{BIAS}_{n,t}$ 用来衡量第 t 个交易日的资产价格相对前 n 日移动平均价格的偏移程度， n 是预定义的天数， $\text{MA}_{n,t}$ 表示第 t 个交易日前 n 日的移动平均价格。其公式如式 (3) 和式 (4)：

$$\text{MA}_{n,t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Close}_{t-i} \quad (3)$$

$$\text{BIAS}_{n,t} = \frac{\text{Close}_t - \text{MA}_{n,t}}{\text{MA}_{n,t}} \times 100\% \quad (4)$$

图 1 投资策略的构建过程

1.1.1 牛市 - 熊市模型

市场趋势是指金融市场随着时间向特定方向移动发展的一种可感知的趋势。牛市是指资产价格持续上涨的时期。相反地，熊市是指资产价格持续下跌的时期。前文计算的 n 日涨幅和乖离率指标都提供了有关市场趋势的信息。本文将利用这两个指标构建牛市 - 熊市模型 (Bull Bear Model, BBM)，来评估当前的市场状况。BBM 的公式如式 (5)，其权重 (ω_1, ω_2) 可以通过熵权法算出：

$$\text{BBM}_t = \omega_1 \overline{\text{Increase}}_{n,t} + \omega_2 \text{BIAS}_{n,t} \quad (5)$$

BBM_t 表示第 t 个交易日处于牛市还是熊市。如果 BBM_t 指标超过某个阈值，则判断为牛市，即交易员可以通过出售持有的资产快速获利；如果 BBM_t 指标低于某个阈值，则判断为熊市，即交易员可以以低价买入资产，等待未来价格上涨后卖出。

但是，面对价格波动幅度较大的资产， BBM_t 指标可能并不能稳定地表示当前的市场状况。例如经过计算得到前一天和后一天都为熊市，但当天为牛市，则说明当天的计算结果误差可能较大。因此，本文用投票法对 BBM 模型进行修正。本文假设若当天计算结果为牛市，则前一段时间（如前 90 天）都为牛市。熊市同理。投票时，所有时间的初始票数为 0，若当天计算结果为牛市，则前一段时间每天的票数都加 1，为熊市则减 1。最后的票数大于 0 为牛市，小于 0 为熊市。最终得到修正的 BBM_t 指标。

1.1.2 风险评估模型

由修正的 BBM_t 指标和 n 日乖离率 $\text{BIAS}_{n,t}$ 指标，可以得到第 t 日交易的潜在风险 TR_t 。其中，权重 ($\omega_{\text{BIAS}}, \omega_{\text{BBM}}$) 由熵权法得到。 TR_t 的表达式如式 (6)：

$$\text{TR}_t = \omega_{\text{BIAS}} \text{BIAS}_{n,t} + \omega_{\text{BBM}} \text{BBM}_t \quad (6)$$

1.2 ARIMA 模型

资产价格的生成往往涉及到很多因素，国内外研究资

产价格趋势的文献也很多，例如对于黄金价格可以使用供需法、成本法和回归模型等，但均有一定的局限性。而时间序列模型可以时间序列数据自身的历史规律来对未来的趋势进行预测。本文将使用自回归移动平均模型 (Autoregressive Integrated Moving Average model, ARIMA) 来对资产的价格进行预测。

在构建 $\text{ARIMA}(p, d, q)$ 模型时，首先要检验时间序列数据是否是平稳的。如果不平稳，则要进行 d 阶差分，使其转变为平稳的时间序列数据。然后，通过观察自相关函数 (ACF) 和偏自相关函数 (PACF) 的图像确定合适的自回归阶数 p 和移动平均阶数 q 。接下来确定最合适的参数组合，并检验模型是否具有统计意义。再进行假设检验，诊断残差序列是否为白噪声。最后，使用通过检验的模型对资产价格进行预测。

非季节性的平稳时间序列的 $\text{ARIMA}(p, d, q)$ 模型可以表示为式 (7) [6]。其中， X_t 是第 t 天真实的价格数据， e_t 是第 t 天的随机误差， ϕ_i 和 θ_j 是系数， p 和 q 分别是自回归阶数和移动平均阶数：

$$X_t = \theta_0 + \sum_{i=1}^p \phi_i X_{t-i} + e_t - \sum_{j=1}^q \theta_j e_{t-j} \quad (7)$$

1.3 资产组合评估模型

在本节中，本文将整合前文的风险评估模型和 ARIMA 模型，给出一个综合的资产组合评估模型，如式 (8)。其结果将为后续的投资策略提供参考：

$$S_{i,t} = \omega_{i,1,t} \text{Increase}_{i,t} + \omega_{i,2,t} \text{BBM}_{i,t} + \omega_{i,3,t} \text{RES}'_{i,t} + \omega_{i,4,t} \text{TR}'_{i,t} \quad (8)$$

其中， i 表示第 i 项资产， t 表示第 t 个交易日， $S_{i,t}$ 是第 i 项资产在第 t 个交易日的投资分数， $\text{Increase}_{i,t}$ 是资产的涨幅， $\text{BBM}_{i,t}$ 表示交易当天处于牛市还是熊市， $\text{RES}'_{i,t}$ 是 ARIMA 模型的残差， $\text{TR}'_{i,t}$ 是当天的交易风险。因为残差和交易风险是负向指标，所以用其最大值减去对应的数值使其与其他指标的变化方向相同。所有的指标都经过归一化处理。权重 ($\omega_{i,1,t}, \omega_{i,2,t}, \omega_{i,3,t}, \omega_{i,4,t}$) 可以通过熵权法算出。 $S_{i,t}$ 的值越大，表明市场发展越好，具有进行投资的前景。

1.4 主观投资意愿

在现实生活中，投资通常不是由投资者本人进行的，而是由金融领域中专业的交易员进行的。交易员在进行交易时，不仅要考虑客观因素（如市场趋势），还要考虑投资者的主观因素。因为出于个性、社会经验、教育水平、判断能力等方面的差异，每个投资者对回报的预期和承受风险的能力都是不同。根据投资者对风险态度可将其分为 5 种类型：保守型、稳健型、平衡型、积极型和激进型。

为了衡量不同类型投资者在回报和风险之间的权衡，本文引入了投资意愿区间 $[A_1, A_2] \subset [0, 1]$ ，以构建适合不同类型投资者的投资策略。在现实生活中，这个区间可以由专业的金融咨询师来确定。结合上一节中的资产评分 S_i ，本文引入了效用感知和风险感知来衡量投资者的回报预期和风险承受能力。如表 1 所示。

定义 1：将 $\text{Benefit}_i = S_i - A_{i,2}$ 称为投资者买入第 i 项资产的效用感知，它衡量了投资者的满意程度。效用感知的值越大，投资者的满意程度越高；反之，满意程度越低。

定义 2：将 $\text{Aversion}_i = A_{i,1} - S_i$ 称为投资者买入第 i 项资产

的风险感知,它衡量了投资者对风险的厌恶程度。风险感知的值越大,投资者的负面情绪越强烈,拒绝投资的可能性越大;反之,投资者的正面情绪越强烈,接受投资的可能性越大。

表1 主观意愿指标说明

第 <i>i</i> 项资产的取值情况	原始公式	说明
$\text{Benefit}_i \geq 0$ $\text{Aversion}_i \leq 0$	$S_i \geq A_{i,2}$	当前的投资组合令投资者感到满意,既超出了收益预期,风险也在承受范围之内
$\text{Benefit}_i \leq 0$ $\text{Aversion}_i \geq 0$	$S_i \leq A_{i,1}$	当前的投资组合令投资者感到厌恶,既没有达到收益预期,也超出了风险承受范围
$\text{Benefit}_i \leq 0$ $\text{Aversion}_i \leq 0$	$S_i \in [A_{i,1}, A_{i,2}]$	当前的投资组合虽然风险能勉强能承受,但收益低于预期,进行买入并不能让投资者感到满意

1.5 交易策略

根据前文,本文建立了一个资产组合评估模型来衡量当前市场的收益走势和风险状况,又引入了效用感知和风险感知来衡量投资者的主观投资意愿。下面,本文将以黄金和比特币为例,具体阐述考虑交易成本的交易策略。

设初始状态下黄金和比特币的资产份额分别为 $\{\text{Amount}_{\text{gold},0}, \text{Amount}_{\text{bitcoin},0}\} = \{0,0\}$, 并且交易员持有一定数量的现金 Cash_0 。

1.5.1 判断是否买入和卖出

当投资者对第*i*项资产的效用感知 $\text{Benefit}_i \geq 0$ 时,买入该资产,当 $\text{Aversion}_i \geq 0$ 时,卖出该资产。

1.5.2 交易规则

Step1: 若当天是黄金交易日,则考虑黄金的买卖,否则不考虑。

Step2: 当黄金和比特币中只有一项资产可以进行买卖时,按照以下方法来计算买卖额度。设第*i*项资产第*t*天的买入额度 $\text{Buy}_{i,t} = \text{Cash}_t \times S_{i,t} \times (1 - \alpha_i) / \text{Close}_{i,t}$ 。其中, Cash_t 表示第*t*个交易日持有的现金数量。卖出额度 $\text{Sell}_{i,t} = \text{Amount}_{i,t} \times (1 - S_{i,t} + A_{i,2})$ 。

当黄金和比特币都可以买入时,若 $\text{Benefit}_{\text{gold},t} > 2\text{Benefit}_{\text{bitcoin},t}$, 则说明第*t*天购买黄金的效用大于购买比特币的效用,即购买黄金更能让投资者感到满意,此时只买入黄金;若 $\text{Benefit}_{\text{gold},t} \leq 2\text{Benefit}_{\text{bitcoin},t}$, 则说明第*t*天购买比特币更能让投资者感到满意,此时只买入比特币。然后按照上述方法来计算买入额度。

Step3: 得到五年后的总资产。

2 实测过程与结果

2.1 数据来源与预处理

本文分别从伦敦金银市场协会^[7]和纳斯达克^[8]的数据网站下载了2016年9月11日至2021年9月10日的黄金与比特币每日的收盘价数据。

考虑到黄金无法像比特币一样在周末交易,为了保证序列模型中数据的连续性,本文将周五的价格作为黄金在对应周末的价格。在制定交易策略时,设置黄金交易日的虚拟变

量,交易日表示为1,非交易日表示为0,便于在交易时判断当天是否是黄金交易日。

2.2 参数设定

在确定 $\text{ARIMA}(p,d,q)$ 模型的参数时,首先通过 ADT 检验检验数据的平稳性。检验的结果如表2所示。原始的黄金和比特币的价格时间序列都是非平稳的,进行一阶差分后 P 值小于 0.001。因此,本文将 ARIMA 模型中的差分参数 d 值确定为 1。

表2 差分结果

变量	差分阶数	<i>T</i> 值	<i>P</i> 值
黄金价格	0	-0.434	0.904
	1	-8.159	0.000***
	2	-12.877	0.000***
比特币价格	0	-0.238	0.934
	1	-8.533	0.000***
	2	-15.719	0.000***

(注: ***表示 $P < 0.001$)

然后是确定 p 和 q 的值。如图2和图3所示,黄金的自相关系数(ACF)和偏自相关系数(PACF)都在4阶后截尾。虽然这两个系数在4阶后很快趋于0,但在第6阶也显著不为0。因此,对于黄金价格时间序列,本文初步取 p 为4和6, q 也为4和6。而如图4和图5所示,比特币的自相关系数和偏自相关系数都明显在1阶、8阶和12阶后截尾。因此,对于比特币价格时间序列,本文初步取 p 为1、8和12, q 也为1、8和12,再对参数进行选择。

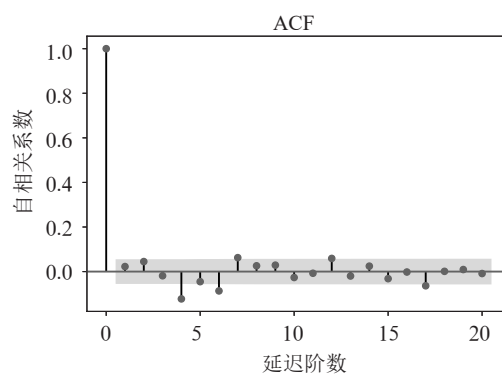


图2 黄金的 ACF 图

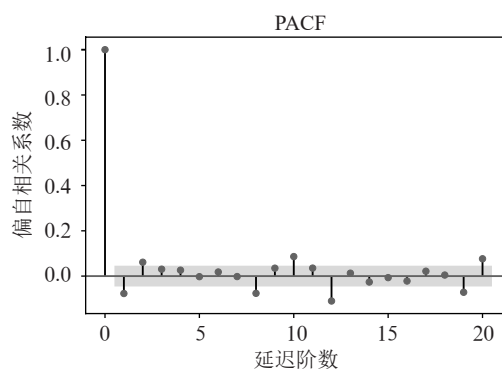


图3 黄金的 PACF 图

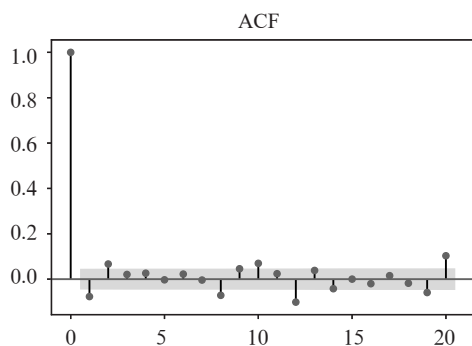


图 4 比特币的 ACF 图

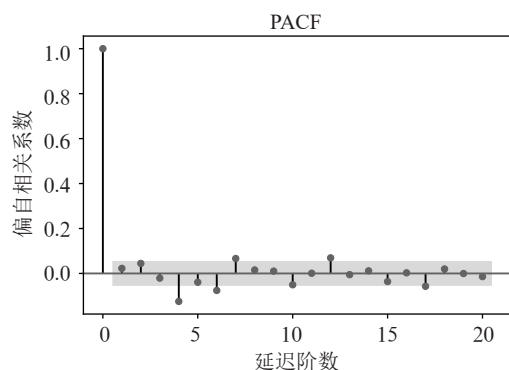


图 5 比特币的 PACF 图

对不同的模型进行拟合后，得到其中的参数如表 3 和表

4 所示。因为 AIC 值较小的模型预测效果较好，所以本文选择 ARIMA (6, 1, 6) 预测黄金的价格，选择 ARIMA (12, 1, 12) 预测比特币的价格。

2.3 结果分析

2.3.1 风险评估模型的结果

在风险评估模型中，因为黄金和比特币的价格在短期内波动幅度都比较大，所以移动平均涨幅和乖离率都按照 5 天进行计算。牛市 - 熊市模型在进行投票时，黄金价格按照 90 天进行投票，比特币价格按照 30 天进行投票。如图 6 所示，展示了黄金和比特币每天的交易风险。由图可以看出，一种资产的购买风险的峰值常常对应另一种资产的购买风险的极小值。因此，当黄金购买风险较高时，可以通过购买比特币来实现风险对冲，反之亦可。

2.3.2 ARIMA 模型结果

根据上述参数估计和预测公式，本文得到 5 年内黄金和比特币的预测价格，如图 7 和图 8 所示。其中，红色线表示实际价格，绿色线表示预测价格。黄金和比特币价格预测模型的 DW 检验值分别为 1.12 和 2.01，都大于 1 且比较接近 2，说明模型预测的效果较好。

表 3 黄金 ARIMA 模型拟合结果

黄金 ARIMA	(4, 1, 4)	(4, 1, 6)	(6, 1, 4)	(6, 1, 6)
AIC	10 143.36	10 140.33	10 139.70	10 138.79
BIC	10 189.56	10 196.80	10 196.37	10 205.53

表 4 黄金 ARIMA 模型拟合结果

比特币 ARIMA	(1, 1, 1)	(1, 1, 8)	(1, 1, 12)	(8, 1, 1)	(8, 1, 8)
AIC	29 589.54	29 582.11	29 560.83	29 585.20	29 494.58
BIC	29 606.07	29 637.20	29 637.96	29 640.29	29 588.23
比特币 ARIMA	(8, 1, 12)	(12, 1, 1)	(12, 1, 8)	(12, 1, 12)	—
AIC	29 492.20	29 551.29	29 501.47	29 490.52	—
BIC	29 607.88	29 628.41	29 617.16	29 628.24	—

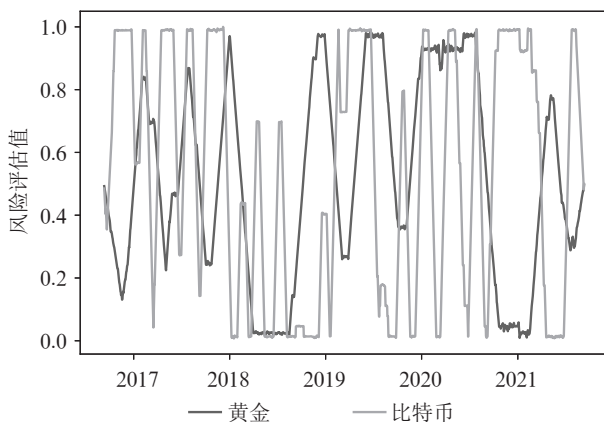


图 6 风险评估结果

2.3.3 交易结果和回测结果

在交易时，由于黄金和比特币的价格波动都比较大，本文在初始投资时设置了两个月的观望期。在此期间只是观察行情，不进行任何交易。此外，考虑到比特币的价格波动幅度较大，因此每次交易时只取交易日前 62 日的价格进行预

测。而黄金的价格波动幅度较小，因此取所有历史数据进行预测。设初始状态下黄金的投资意愿区间为 [0.45, 0.55]，比特币的投资意愿区间为 [0.6, 0.8]，初始资产只有一千美元现金，黄金的佣金为 1%，比特币的佣金为 2%。根据前文的投资策略进行五年的投资，得到总资产的变化情况如图 9 所示。最终可以持有的总资产约为 1 697.74 万美元，收益率为 1 697 640%。



图 7 黄金价格预测的结果

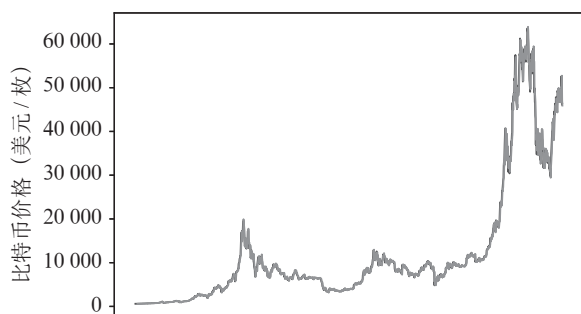


图8 比特币价格预测的结果

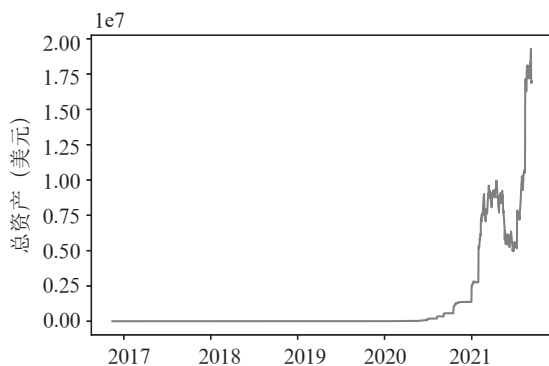


图9 总资产走势图

回测时,利用实际的数据计算资产组合评估模型的评分,其他参数取值与预测时相同,最终得到总资产约为53.26亿美元,约是预测时的314倍。

3 结语

本文提出了一种基于综合评价方法的组合投资策略,可以仅根据历史价格数据确定每天的投资组合和交易计划,最后通过回测验证了模型有效性。在对投资组合进行综合评价

时,本文首先从风险和收益两个角度出发,分别建立了风险评估模型和价格涨幅的时间序列预测模型。然后,将这两个方面的评价的结果综合起来得到资产组合评估模型。在制定投资策略时,本文又引入效用感知指标和风险感知指标来衡量投资者的期望和抗风险能力,并结合资产组合评估模型的结果,给出灵活、个性化的长期投资策略。最后的实测结果表明,本文的组合投资策略是行之有效的。

参考文献:

- [1] MARKOWITZ H.Portfolio Selection [J].The Journal of Finance, 1952, 7 (1) : 77-91.
- [2] SHARPE W F.Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk [J].The Journal of Finance, 1964, 19 (3) : 425-442.
- [3] BLACK F, LITTERMAN R B.Asset Allocation: Combining Investor Views with Market Equilibrium [J].The Journal of Fixed Income, 1991, 1 (2) : 7-18.
- [4] BLACK F, LITTERMAN R.Global Portfolio Optimization [J].Financial Analysts Journal, 1992, 48 (5) : 28-43.
- [5] MOSSIN J.Optimal Multiperiod Portfolio Policies [J].The Journal of Business, 1968, 41 (2) : 215-229.
- [6] ARIYO A A, ADEWUMI A O, AYO C K.Stock Price Prediction Using the ARIMA Model [C]//2014 UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation. Cambridge: IEEE, 2014: 106-112.
- [7] The London Bullion Market Association.International Prices for Gold, Silver, Platinum and Palladium [EB/OL].[2022-07-16].<https://www.lbma.org.uk/prices-and-data/precious-metal-prices#/table>.
- [8] Nasdaq Data Link.Average USD market price across Major Bitcoin Exchanges [EB/OL].[2022-07-17].<https://data.nasdaq.com/data/BCHAIN/MKPRU-bitcoin-market-price-usd>.

作者简介:黄丽珊(2001.01—),女,汉族,广东湛江人,本科在读,研究方向:数据分析。

(上接97页)

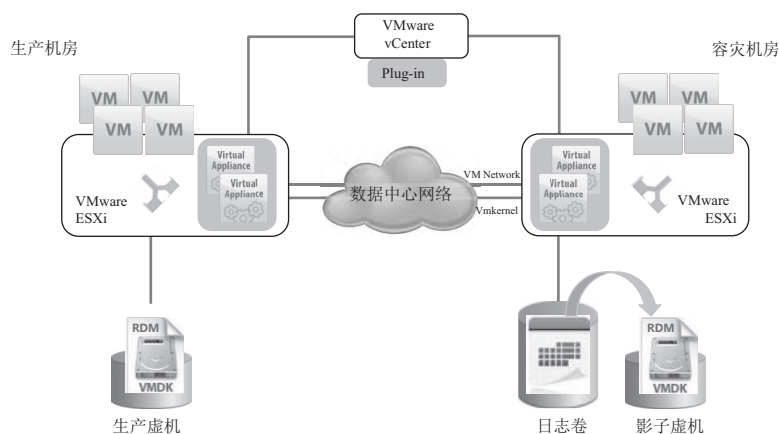


图5 RecoverPoint For Virtual Machines实施拓扑

参考文献:

- [1] 蔡诗威,刘陈昕.面向云计算数据中心的灾难备份解决方案[J].电信快报,2015(10):45-48.
- [2] 乔建良.基于云计算中心的容灾系统的建设[J].通讯世界,2016(5):231.
- [3] 蔡建宇.基于云计算的容灾机制研究[J].信息通信,2013(1):13-14.

[4] 刘陈昕.基于云计算的三级医院统一容灾系统研究[J].信息通信,2017(8):147-149.

[5] 郝玉清,周渝霞,李硕,等.连续数据保护技术全面保障医院信息系统安全[J].中国数字医学,2010,5(7):93-95.

作者简介:俞凯(1983.10—),男,汉族,福建福清人,高级工程师,本科,研究方向:IT硬件基础设施系统集成、容灾备份。