文章编号：1000−8152(2007)02−0312−05

最优变现策略及最优变现时间

胡小平, 何建敏, 吕宏生

(东南大学 经济管理学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 研究了变现时间内生时, 投资者的最优变现策略和最优变现时间问题. 市场价格的永久冲击和瞬时冲击均为变现速度的线性函数, 并且变现速度是一带孤立点的闭集合, 利用最优控制理论中的极大值原理, 得到了问题的解析解. 研究结论表明, 最优变现策略和变现时间由市场条件、股票的波动性、流动性、头寸规模和投资者的风险偏好共同决定; 永久冲击只影响变现的收益, 与最优变现策略和时间无关.

关键词: 内生变现时间; 最优变现策略; 最优变现时间

中图分类号: F830.59 **文献标识码**: A

On optimal liquidation strategy and optimal liquidation time

HU Xiao-ping, HE Jian-min, LÜ Hong-sheng

(School of Economics and Management, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

Abstract: The optimal liquidation strategy and optimal liquidation time are studied with endogenous liquidation time horizon. Both the permanent impact and the temporary impact are the linear function of the liquidation velocity, and the liquidation velocity is a closure set with an isolated point. An analytic solution is then obtained by the maximum principles in optimal control theory. The result shows that the optimal liquidation strategy and optimal liquidation time are commonly governed by market conditions, stock volatility, stock liquidity, position size and risk preference. Furthermore, the permanent impact only affects the total liquidation return, not affects the optimal liquidation strategy and optimal liquidation time.

Key words: endogenous liquidation time; optimal liquidation strategy; optimal liquidation time

1 引言 (Introduction)

投资者并不能以市场当前价格迅速卖出大量头寸, 投资者实际的成交价格必然偏离当前市场提示的均衡价格, 这就是所谓的流动性风险. 投资者采用的变现策略, 影响和决定了变现的成本. Chan & Lakonishok[1]的研究发现, 机构投资者需要变现较大规模的头寸时, 为了减小对市场交易价格的不利影响, 总是把大规模头寸分为若干个较小的头寸, 在4天乃至更长的时间内卖清, 而不是一次性卖出所有头寸; 在交易清淡、流动性不足的市场上, 这一现象就更为普遍.

Bertsimas & Lo[2,3]利用随机动态规划技术, 最小化买入大规模头寸的期望成本得到动态最优化策略, 但没有考虑不同策略成本的波动性. Almgren & Chriss[4,5]利用均值方差方法, 包含了在更长的时间内变现头寸时的市场风险. 但讨论内生最优变现时间时, 为了数学处理上的方便, 简单的假设在变现期末时, 变现的速度为零, 得到投资者有限的头寸, 要在无限的时间内出清才为最优的结论, 这显然与市场实际情况不符. Dubil[6,7]讨论了在给定策略(恒定速度)下的最优变现时间, 这也不是真正意义上的全局最优的最优变现时间. 国内的学者对最优变现策略的研究成果较少. 刘海龙, 仲黎明和吴冲锋[8]在证券价格服从离散时间算术布朗运动的假设下, 研究了开放式基金流动性风险的最优控制问题. 得到当流动性系数较大时, 最优控制策略接近于线性策略; 流动性系数较小时, 资产管理者会迅速将资产头寸降至理想水平, 并在大部分时间内保持这种状态, 直到变现期末达到资产目标头寸. 仲黎明, 刘海龙和吴冲锋[9]研究证券价格服从连续的算术布朗运动时, 机构投资者的变现行为. 把方差做为约束条件, 均值做目标函数, 用拉格朗日乘子法求泛函极值, 得到了最优变现策略. 本文的主要贡献在于投资者的变现时间是内生的, 变现的速度

收稿日期: 2005−05−12; 收修改稿日期: 2006−04−29.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70371035).

是一带有孤立点的闭集, 并给出了问题的解析解. 与Dubil，Almgren＆ Chriss 的研究相同, 把投资者对市场的不利影响分为永久冲击和瞬时冲击, 目标函数是均值方差的函数. 但与Almgren& Chriss 使用欧拉–拉格朗日方程这古典变分法作为工具不同, 本文使用现代最优控制理论中的极大值原理这一现代变分法作为工具, 在现代变分学框架下, 不需要假设变现速度是连续可微的, 只需要变现速度作为控制变量是一闭集这一基本假定. 这样, 就可以对市场交易制度和投资者的交易行为做出更符合客观实际的限定. 本文没有对变现期末速度假设为零, 且从理论上证明了即使投资者的变现速度可以为零, 但在最优变现策略下, 变现速度也必不为零这一结论. 当变现时间是内生时, 变现策略和变现时间相互影响又相互决定.

2 模型 (Model)

假设市场价格运动缺乏趋势性, 在金融文献中认为市场价格服从如下的几何布朗运动:

$$\mathrm{d}s = s\tilde{\sigma}\mathrm{d}tW(t). \tag{1}$$

$W(t)$ 是标准维纳过程. 由于几何布朗运动不便于数学处理, 又考虑到变现的时间很短($\ll 1$ 年), 可以近似的用算术布朗运动来代替式(1)的几何布朗运动($s\tilde{\sigma} \approx \sigma$ 常数), 即

$$\mathrm{d}s = \sigma\mathrm{d}W(t). \tag{2}$$

初始价格$s(0) = S_0$, 投资者在时刻$t = 0$ 时, 拥有头寸$X > 0$, 要在市场中变现, 变现时间为$[0, T]$, T 自由. 本文只研究投资者的纯卖策略, 考虑到市场最小交易单位(tick size)的存在, 和投资者机会成本的限制, 变现速度v 非常小(无穷趋于0)无经济意义, 因此, 变现速度v 只能为零或大于某一速度 $\underline{v}$. 此外, 还应小于某一速度$\bar{v}$($\bar{v} >\underline{v}$). 即有

$$v \in V = \{0\} \bigcup \left[\underline{v}, \bar{v}\right]. \tag{3}$$

其中$0 < \underline{v}$. 在实际应用中, $\underline{v}$ 的选取, 用市场最小交易单位除以交易间隔得到; 而 $\bar{v}$ 则可依据日交易总量除以日交易时间得到.

设$x(t)$, $v(t)$分别是投资者在 t时刻拥有的头寸和变现(卖出)的速度, 且$v(t)$ 是t 的左连续函数, 则有

$$x(0) = X,\ x(T) = 0,\ v(t) = -\frac{\mathrm{d}x(t)}{\mathrm{d}t}. \tag{4}$$

在 $(t - \mathrm{d}t, t)$ 内卖出的头寸为

$$n_t = -\mathrm{d}x(t) = v(t)\mathrm{d}t. \tag{5}$$

与 Dubil，Almgren＆Chriss 相同, 本文把投资者变现交易引起的、对市场不利影响分为永久冲击(permanent impact)与瞬时冲击(temporary impact). 所谓的永久冲击是指投资者的变现交易(卖)对市场价格的不利影响一直持续整个变现期$[0, T]$, 而瞬时冲击只是在时间$(t - \mathrm{d}t, t)$ 使内投资者的实际成交价格偏离市场的均衡价格. 永久冲击响应和瞬时冲击响应都是变现速度的函数, 本文采用线性冲击响应

$$\begin{aligned} &g(v(t)) = \gamma v(t),\ \gamma > 0, \\ &h(v(t)) = \beta v(t),\ \beta > 0. \end{aligned} \tag{6}$$

由Almgren& Chriss 知, 由于永久冲击响应的存在, 市场价格运动式(2)中漂移项变为$-g(v(t))$, 市场价格变为

$$\begin{aligned} s(t) = {}& S_0 + \sigma W(t) - \int_0^t g(v(s))\mathrm{d}s\ = \\ & S_0 + \sigma W(t) - \gamma x(t). \end{aligned} \tag{7}$$

由于瞬时冲击响应$h(v(t))$ 的存在, 投资者真正实现的交易价格为

$$\hat{s}(t) = s(t) - h(v(t)). \tag{8}$$

而投资者从变现成本EC为

$$\begin{aligned} & EC = XS_0 - \int_0^T \hat{s}(t)(-\mathrm{d}x(t))\ = \\ & XS_0 - \int_0^T (S_0 + \sigma W(t) - \gamma x(t) - \beta v(t))v(t)\mathrm{d}t = \\ & \frac{\gamma}{2}X^2 + \int_0^T \sigma W(t)v(t)\mathrm{d}t + \beta\int_0^T v(t)^2\mathrm{d}t. \end{aligned} \tag{9}$$

因$v(t)$是确定性函数, 所以

$$\mathrm{E}(\int_0^T \sigma W(t)v(t)\mathrm{d}t) = \mathrm{E}(\int_0^T \sigma x(t)\mathrm{d}W(t)) = 0, \tag{10}$$

$$\begin{aligned} & \mathrm{D}(EC) = \mathrm{D}(\int_0^T \sigma W(t)v(t)\mathrm{d}t)\ = \\ & \mathrm{D}(\sigma W(t)(-x(t))|_0^T + \int_0^T \sigma x(t)\mathrm{d}W(t))\ = \\ & \int_0^T \sigma^2 x(t)^2 \mathrm{D}(\mathrm{d}W(t))\ = \int_0^T \sigma^2 x(t)^2\mathrm{d}t. \end{aligned} \tag{11}$$

EC的数学期望为

$$\mathrm{E}(EC) = \frac{\gamma}{2}X^2 + \beta\int_0^T v(t)^2\mathrm{d}t, \tag{12}$$

方差为

$$\mathrm{D}(EC) = \int_0^T \sigma^2 x(t)^2\mathrm{d}t. \tag{13}$$

投资者选择策略$(x(t), v(t))$, 使下式取最小值:

$$U = \mathrm{E}(EC) + \alpha\mathrm{D}(EC). \tag{14}$$

α是反映投资者的风险偏好, $\alpha < 0$时, 投资者偏好风险; 当$\alpha = 0$时投资者风险中性; 当$\alpha > 0$时, 投资者风险厌恶. 本文只研究投资者风险厌恶情况, 为叙述方便, 对风险厌恶的理性投资者, 以下简称投资者.

3 最优变现策略和最优出清时间 (Optimal liquidation strategy and optimal liquidation time)

在不影响理解的前提下, 为了符号简洁, 有时用x, v 代替$x(t), v(t)$. X 是常数, 不影响投资者最优策略的形成. 求式(14) 对应的最优变现策略和内生最优变现时间问题, 等价于最优控制问题

$$J[X]=\min_{v\in\{0\}\cup[\underline{v},\bar{v}]}\frac{1}{2}\int_0^T(v^2+\theta x^2)\mathrm{d}t, \quad (15)$$

$$\begin{cases}\dot{x}=-v,\ x(0)=X>0,\ x(T)=0,\\ v\in V,\ T\text{自由}.\end{cases} \quad (16)$$

其中$\theta=\dfrac{\alpha\sigma^2}{\beta}>0$. 该最优控制问题的控制域是包含孤立点的有界闭集, 且最优控制要求在闭集的边界上取值, 古典变分法无能为力. 考虑问题的特殊性, 本文采用极大值原理作为工具.

定义Hamilton 函数

$$H(v,x,\lambda)=\frac{1}{2}(v^2+\theta x^2)+\lambda(-v). \quad (17)$$

Hamilton 方程组为

$$\begin{cases}\dot{x}=\dfrac{\partial H(v,x,\lambda)}{\partial\lambda}=-v,\\ x(0)=X,\\ x(T)=0,\end{cases} \quad (18)$$

$$\dot{\lambda}=-\frac{\partial H(v,x,\lambda)}{\partial x}=-\theta x. \quad (19)$$

最优轨线x^*、协态变量λ^* 处, 最优控制v^*应使Hamilton函数在控制域上取全局最小. 先求Hamilton函数的驻值函数v_s, 因此

$$\frac{\partial H}{\partial v}=v-\lambda^*, \quad (20)$$

所以有

$$v_s=\lambda^*. \quad (21)$$

Hamilton 函数限制在控制域$V=\{0\}\cup[\underline{v},\bar{v}]$ 内.

当$\lambda^*\geqslant\bar{v}$时, $H(v,x,\lambda^*)$ 在$v^*=\bar{v}$ 处取最小值;

当$\underline{v}\leqslant\lambda^*\leqslant\bar{v}$ 时, $H(v,x,\lambda^*)$ 在 $v^*=\lambda^*$ 处取最小值;

当$\lambda^*>\dfrac{\underline{v}}{2}$ 时, $H(v,x,\lambda^*)$ 在$v^*=\underline{v}$ 处取最小值;

当 $\lambda^*=\dfrac{\underline{v}}{2}$ 时, $H(v,x,\lambda^*)$ 在 $v^*=\underline{v},0$ 处取最小值;

当$\lambda^*<\dfrac{\underline{v}}{2}$ 时, $H(v,x,\lambda^*)$ 在$v^*=0$ 处取最小值;

在 $\lambda^*=\dfrac{\underline{v}}{2}$, $H(v,x,\lambda^*)$ 在两个点取最小值, 考虑到$v(t)$ 的左连续性, 有$v^*=\underline{v}$. 得到

$$v^*=\begin{cases}0,\quad \lambda^*<\dfrac{\underline{v}}{2},\\ \underline{v},\quad \dfrac{\underline{v}}{2}\leqslant\lambda^*\leqslant\underline{v},\\ \lambda^*,\ \underline{v}<\lambda^*\leqslant\bar{v},\\ \bar{v},\quad \bar{v}<\lambda^*.\end{cases} \quad (22)$$

定理 1 最优策略下的头寸变现过程中, 不存在某一时刻$0<t_1<T$, 卖出速度$v*(t_1)=0$.

证 当$0<t<T$ 时, 纯卖策略决定$x(t)>0$, 由式(19) 知$\lambda^*(t)$ 是严格单调下降的.

假设$v^*(t_1)=0$, 则由式(22) 知

$$\lambda^*(t_1)<\frac{\underline{v}}{2},\ \lambda^*(t)<\lambda^*(t_1)<\frac{\underline{v}}{2}, t_1<t\leqslant T.$$

由式(22) 知

$$v^*(t)=0,\ t_1<t\leqslant T.$$

由$x(T)=0$, 知

$$x(t)\equiv 0, t\in[t_1,T].$$

这与T 是最优变现时间矛盾, 即定理成立.

定理表明, 投资者在头寸出清前不可能有一段时间处于观望状态, 即在该段时间内没有头寸卖出, 投资者能做的事情就是调整卖出的速度, 在变现头寸引起的流动性风险和持有头寸而承受的市场波动风险间做出平衡. 观望一段时间后, 流动性风险不会降低, 而增加了市场波动引起的市场风险.

因T自由, 在最优轨线的末端, Hamilton函数应满足

$$H(v^*(T),x^*(T),\lambda^*(T))=\\ \frac{1}{2}v^*(T)^2-\lambda^*(T)v^*(T)=0. \quad (23)$$

在最优轨线的末端$x^*(T)=0$, $\lambda^*(T)\neq 0$, 由命题知

$$v^*(t)>0,\ \lambda^*(t)>0,\ t<T. \quad (24)$$

由λ^*的单调下降性和式(23)知

$$\lambda^*(T)>0, \quad (25)$$

从而

$$v^*(T)=2\lambda^*(T). \quad (26)$$

再由式(22)知

$$v^*(T)=\underline{v}=2\lambda^*(T). \quad (27)$$

由命题结论和λ^*的单调下降性, 由式(22) 知最优变现速度v^*也是随着时间单调下降的. 对充分大的初始头寸$x(0)=X$, $[0,T]$ 被分为3部分, 即$[0,T_1]$, $[T_1,T_2]$, $[T_2,T]$$(0<T_1<T_2<T)$, 在这3个区间内, v^* 分别为$\bar{v}$, λ^*, $\underline{v}$. 下面为了叙述方便, 一律取消上

标"*" 号. 在$[0,T_1]$内, $v=\bar{v}$, 由$\dot{x}=-\bar{v}$, $x(0)=X$得到

$$x=-\bar{v}t+X. \tag{28}$$

代入式(19), 有

$$\dot{\lambda}=-\theta(-\bar{v}t+X). \tag{29}$$

得到区间$[0,T_1]$ 内的函数形式

$$\begin{aligned}&x_1(t)=-\bar{v}t+X,\\&\lambda_1(t)=\frac{1}{2}\theta\bar{v}t^2-\theta Xt+C_{11},t\in[0,T_1].\end{aligned} \tag{30}$$

在$(T_1,T_2]$内, $v=\lambda$, 则式(18)(19) 变为

$$\begin{cases}\dot{x}=-\lambda,\\\dot{\lambda}=-\theta x.\end{cases} \tag{31}$$

解式(31)的常系数常微分方程组得到$(T_1,T_2]$ 内的函数形式:

$$\begin{cases}x_2(t)=C_{21}\mathrm{e}^{\sqrt{\theta}t}+C_{22}\mathrm{e}^{-\sqrt{\theta}t},\\\lambda_2(t)=-\sqrt{\theta}(C_{21}\mathrm{e}^{\sqrt{\theta}t}-C_{22}\mathrm{e}^{-\sqrt{\theta}t}),\\t\in(T_1,T_2].\end{cases} \tag{32}$$

在$(T_2,T]$ 内, $v=\underline{v}$, 与$[0,T_1]$ 内的方法相同, 并考虑到$x(T)=0$, 得到$(T_2,T]$ 内的函数形式:

$$\begin{cases}x_3(t)=-\underline{v}t+\underline{v}T,\\\lambda_3(t)=\frac{1}{2}\theta\underline{v}t^2-\underline{v}T\theta t+C_{31},\\t\in(T_2,T].\end{cases} \tag{33}$$

由轨线和伴随变量的连续性和式(27), 得到如下联立方程组:

$$\begin{cases}x_1(T_1)=x_2(T_1),\lambda_1(T_1)=\bar{v}=\lambda_2(T_1),\\x_2(T_2)=x_3(T_2),\\\lambda_2(T_2)=\underline{v}=\lambda_3(T_2),\lambda_3(T)=\frac{\underline{v}}{2}.\end{cases} \tag{34}$$

式(34)中, 共有7个方程, 7个未知量$(C_{11},C_{21},C_{22},C_{31},T_1,T_2,T)$, 满足$0<T_1<T_2<T$ 条件的方程组解为

$$T_1=\frac{X\sqrt{\theta}-\bar{v}}{\bar{v}\sqrt{\theta}}, \tag{35}$$

$$T_2=\frac{\ln(\bar{v}/\underline{v})+X\sqrt{\theta}-\bar{v}}{\bar{v}\sqrt{\theta}}, \tag{36}$$

$$T=\frac{\ln(\bar{v}/\underline{v})\bar{v}+X\sqrt{\theta}}{\bar{v}\sqrt{\theta}}, \tag{37}$$

$$C_{21}=0,\ C_{22}=\frac{\bar{v}}{\sqrt{\theta}\exp(-\dfrac{X\sqrt{\theta}}{\bar{v}}+1)}, \tag{38}$$

$$\begin{cases}C_{11}=\dfrac{X^2\theta+\bar{v}_2^2}{2\bar{v}},\ \psi=\ln(\dfrac{\bar{v}}{\underline{v}}),\\C_{31}=\dfrac{\underline{v}\left(\bar{v}^2\psi^2+2\bar{v}\psi X\sqrt{\theta}+X^2\theta^2+\bar{v}^2\right)}{2\bar{v}^2}.\end{cases} \tag{39}$$

$x_1(t),x_2(t),x_3(t)$ 刻画了系统的最优轨线, 也就是最优变现策略, 而T 是内生的最优出清时间. 把式(35)~(39)代入式(30)~(33), 令

$$X_U=x_1(T_1)=x_2(T_1)=\frac{\bar{v}}{\sqrt{\theta}}, \tag{40}$$

$$X_L=x_2(T_2)=x_3(T_2)=\frac{\underline{v}}{\sqrt{\theta}}. \tag{41}$$

不难得到

$$T-T_2=\frac{1}{\sqrt{\theta}},\ T_2-T_1=\frac{\ln\left(\bar{v}/\underline{v}\right)}{\sqrt{\theta}}. \tag{42}$$

式(40)~(42)的结果与初始头寸$x(0)=X$ 无关.

当初始头寸X不同取值时, 具体讨论投资者的最优最现策略和最优变现时间:

1) $X>X_U$. 投资者的最优最现策略是先以常速$\bar{v}$ 变现, 使头寸降至X_U, 再沿$x_2(t)$ 变现, 头寸降至X_L, 接着以速度$\underline{v}$ 出清手中头寸, 最优变现时间$T^*=T=\dfrac{\ln\left(\bar{v}/\underline{v}\right)\bar{v}+X\sqrt{\theta}}{\bar{v}\sqrt{\theta}}$.

2) $X_U\geqslant X\geqslant X_L$. 由Bellman 最优化原理知, 投资者先以式(32)描述的$x_2(t)$变现头寸至X_L, 再以速度$\underline{v}$ 出清头寸. 此时, 式(32)的边界条件为

$$x(0)=X,x(T_{21})=X_L,\lambda(T_{21})=\underline{v}, \tag{43}$$

求得

$$T_{21}=T_{21}=\frac{\ln(\theta X^2/\underline{v}^2)}{2\sqrt{\theta}}. \tag{44}$$

对应的最优变现时间为

$$T^*=\frac{X_L}{\underline{v}}+T_{21}=\frac{1}{\sqrt{\theta}}+\frac{\ln(\theta X^2/\underline{v}^2)}{2\sqrt{\theta}}. \tag{45}$$

3) $X\leqslant X_L$. 投资者以恒定速度$\underline{v}$变现, 直至卖清所有头寸. 此时, 最优变现时间为

$$T^*=\frac{X}{\underline{v}}. \tag{46}$$

从最优变现策略$x(t)$和变现时间T^*的表达式可看出, 市场条件$\underline{v}$和$\bar{v}$、股票的波动率σ、流动性β、头寸规模X和投资者的风险偏好α共同决定; 永久冲击只影响变现收益$EC(X)$, 与最优变现策略和时间无关.

4 结论 (Conclusion)

本文使用现代控制理论, 对投资者的变现速度做出了符合市场实际情况的限制, 得到了问题的解析解, 并证明了投资者的变现速度即使允许为零, 风险

厌恶的理性投资者在最优变现策略时, 其变现速度也不可能为零. 与 Almgren& Chriss 的文章相比, 本文没有简单的假设变现期末的速度为零, 结论更为合理, 更好的反映了现实市场中投资者的变现行为.

参考文献 (References):

[1] CHAN L K C, LAKONISHOK J. The behavior of stock price around institutional trades[J]. *J of Finance*, 1995, 50(3): 1147 – 1174.

[2] BERTSIMAS D, LO A W. Optimal control of execution costs[J]. *J of Financial Markets*, 1998, 1(1): 1 – 50.

[3] BERTSIMAS D, LO A W, NUMMEL P. Optimal control of execution costs for portfolios[J]. *Computing in Science & Engineering*, 2000, 1(1): 40 – 53.

[4] ALMGREN R, CHRISS N. Value under liquidation[J]. *Risk*, 1999, 2(2): 62 – 64.

[5] ALMGREN R, CHRISS N. Optimal execution of portfolio transactions[J]. *J of Risk*, 2000, 3(3): 5 – 39.

[6] DUBIL R. How to include liquidity in a market VaR statistic[J]. *J of Applied Finance*, 2003, 4(3): 19 – 28.

[7] DUBIL R. *The modeling of liquidity in the value-at-risk framework*[D]. Proquest Information: University of Connecticut, 2001.

[8] 刘海龙, 仲黎明, 吴冲锋. 开放式基金流动性风险的最优控制[J]. 控制与决策, 2003, 18(1): 217 – 220.
(LIU Hailong, ZHONG Liming, WU Chongfeng. Optimal control of liquidity risk of the open-end fund[J]. *Control and Decision*, 2003, 18(1): 217 – 220.)

[9] 仲黎明, 刘海龙, 吴冲锋. 机构投资者的最优变现策略[J]. 管理科学学报, 2002, 5(5): 18 – 22.
(ZHONG Liming, LIU Hailong, WU Chongfeng. Institution investors' optimal liquidation strategy[J]. *J of Manegement Sciences in China*, 2002, 5(5): 18 – 22.)

作者简介:

胡小平 (1971—), 男, 东南大学经济管理学院博士, 目前研究方向为最优控制理论和金融工程, E-mail: hxpnj@163.com ;

何建敏 (1958—), 男, 东南大学经济管理学院教授, 博士生导师, 研究方向为应急管理和金融工程, E-mail: nj.jian@public1.ptt.js.cn

吕宏生 (1976—), 男, 东南大学经济管理学院博士生, 研究方向为随机分析和金融工程, E-mail: myhugedream@163.com.

《网络控制系统的分析与综合》书评

由岳东教授、彭晨副教授、Q.L. Han教授撰写的《网络控制系统的分析与综合》著作主要论述了近年来作者及其他国内外学者在网络控制系统(NCS)理论分析方面取得的成果. 著者根据多年从事NCS的理论与应用的教学与研究工作经验, 力求将NCS的基本理论和方法, 以及比较具有代表性的热点研究内容和实例收入书中, 介绍给读者. 该书是一部具有学术参考价值的著作.

全书共分9章, 前2章主要介绍NCS的预备知识和基本理论, 包括NCS的研究背景、国内外的研究现状、NCS的建模方法及其稳定性相关的基本理论. 此外, 著者根据多年从事时滞系统研究的经验, 在NCS建模的过程中, 清楚地阐明了NCS和一般时滞系统的区别.

第3章介绍了基于离散时间模型和连续时间模型的反馈控制设计. 在基于离散时间模型的镇定反馈控制设计中, 主要介绍了模型依赖、基于有界数据丢包率、随机最优控制以及时滞相关的设计方法; 基于连续时间模型的镇定反馈控制设计, 主要介绍了模型依赖设计方法和时滞相关设计方法. 第4章介绍NCS和网络协议联合设计, 主要包括网络控制系统中的RM静态采样周期调度算法、MEF-TOD动态调度算法和模糊增益调制方法以及控制器与网络服务质量的协作设计方法. 第5章介绍网络控制的预测设计方法, 介绍了单输入–单输出系统的网络预测控制设计方法以及多输出–多输出系统的基于模型的网络预测控制设计方法. 第6章介绍网络控制系统的量化控制, 内容包括: 时不变量化控制, 主要介绍了对数量化器、离散系统的对数量化镇定控制、保成本控制和控制、广义时滞系统的对数量化保成本控制和非理想网络环境下系统的对数量化控制; 时变量化控制, 主要介绍时变量化器和基于该量化器的时变量化控制设计方法. 第7章介绍网络控制系统的滤波器设计, 介绍基于Kalman滤波器的远程滤波器设计以及基于离散和连续NCS的滤波器设计. 第8章介绍无线网络控制系统的跨层设计. 内容包括: 无线网络基本结构和特点、跨层设计方法、无线网络控制系统结构以及无线网络控制系统的跨层设计. 最后介绍了网络控制系统的仿真方法和实验平台.

在该书中, 著者将其近年来在网络控制系统分析与综合方面的研究成果贯穿其中, 系统阐述了NCS分析方面的研究成果和动向. 该书理论性强, 阐述问题系统、清楚, 图表等符合规范, 内容具有创新性, 体现出著者较高的学术水平, 是一本网络控制和线性控制理论研究领域的一本好书. 其可作为信息与控制类各专业的研究生教材, 也适合相关领域各专业研究生参考, 对信息与控制类各专业以及相关专业高等学校教师、广大科技工作者、工程技术人员和高年级大学生也具有较高的参考价值.

(徐胜元)