

Inventory – forecasting: Mind the gap

Thanos E. Goltsos , Aris A. Syntetos , Christoph H. Glock , George Ioannou , 2021; European Journal of Operational Research

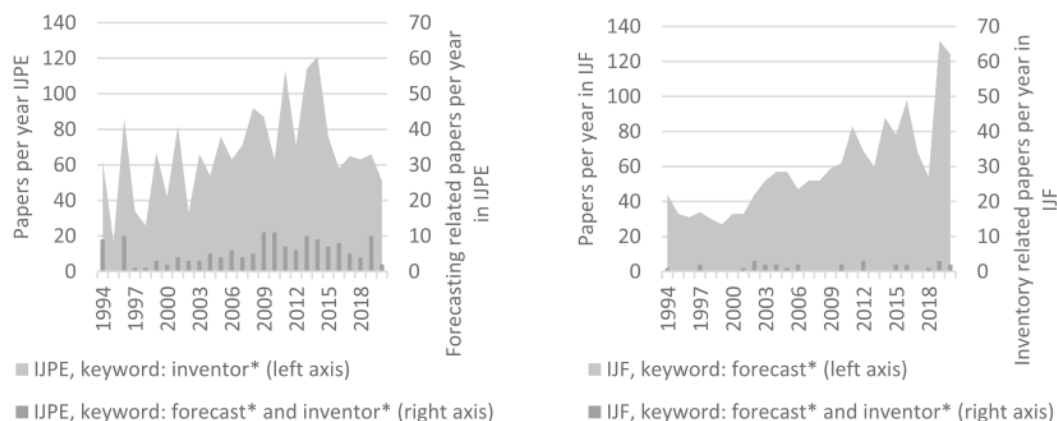
综述文章，讨论：**在供应链运营的背景下，需求预测和库存控制之间的互动和整合**

研究对象：用于SKU库存管理的需求预测，库存预测（inventory forecasting），通常是点/均值预测，但也可能需要预测方差、高阶矩、分位数、分布等。

背景

- 经典库存管理：基于严格假设，回避预测，关注库存效率——库存成本与服务满足的权衡；
- 经典预测：不考虑预测的背景与使用目的，关注无实际背景的预测评价指标，隐含的假设是“可实现的精度改进直接导致价值节约”（更准确的预测必然有意义），可能受到点预测指标的干扰。

之前的工作中，两个方面的工作基本是独立的，作者以International Journal of Production Economics (IJPE) 与 International Journal of Forecasting (IJF) 为例展示了两方面工作的情况：IJPE关于两个关键词与只有“inventor”关键词的比例是197/1952，IJF关于两个关键词与只有“forecast”关键词比例为31/1735。



基于现状，提出将预测与库存控制集成的需求：

- 将库存成本降至最低的最佳需求预测方法不一定总是具有最佳预测精度的方法；
- 对于可比服务水平，预测准确性降低1%将转化为库存成本降低10%-15%，预测指标相近的预测结果可能经济意义大不同；
- 预测（前馈控制）与库存（反馈控制）的相互作用没有研究清楚，可能导致控制不确定性。
- 牛鞭效应（bullwhip effect，离客户越远信息不确定性越大）与间断需求的“发货点偏差”
- 集成要求：正确地估计和更新用于库存控制的需求参数(EPPEN和Martin, 1988)，并且需要通过库存绩效来判断预测性能(Gardner, 1990)

文章对集成两方面研究水平的分类：

I0/F0：只考虑库存/预测；I1/F1：带预测**讨论 (discussion)** 的库存控制（反之亦反是）；I2/F2：库存与预测的**系列应用(Serial) application**（考虑侧重点认定为I/F）；IF3：库存预测（inventory forecasting）研究的**集成发展 (Integrated development)**



Fig. 2. Integration levels.

分类过程

只关注两者内容均涉及的文献，在Scopus中检索。

集成研究的分类框架

- 0级：只考虑二者之一，库存研究采用了便利的需求假设（进而不需要预测），而预测研究的定位是预测本身就是目的。
- 1级：承认另一领域的存在并认识其必要性，要么认识到预测需求参数的必要性，要么认识到预测最终将用于库存控制的事实；但是不参与另一个领域。
- 2级：倾向于估计需求参数，然后采用库存控制政策，认识到整合的必要性。对于预测文献，此级别文献基于底线库存考虑指标（metrics）；对于库存控制文献，其始于需求预测，不假设需求已知。
- 3级：综合考虑库存-预测系统，需求特征被预测，并用于并行地理解和/或指导库存预测模型，或用于对库存模型的理解。作者努力解决影响系统的潜在属性。

样本分析

共包括118篇2级文献以及94篇3级文献。

随时间描述性结果是：

- 自1974年开始有集成研究以来，不断上升，至2010登顶为25篇；之后保持每年10左右篇的水平。
- 3级比例逐年上升。
- 以库存控制为重点的文献更多，2级文献对比是49/69。

期刊分布：依次是分布与三种主要期刊（IJPE、EJOR、IJF）的论文发表趋势。分布受到期刊年发表数的影响。

IJPE：2008年（在ISIR中引入了库存预测流）后集成研究开始增多，随2010年 *Supply Chain Forecasting Systems* 特刊出版达到高峰；

IJF：平稳；EJOR：温和增长。

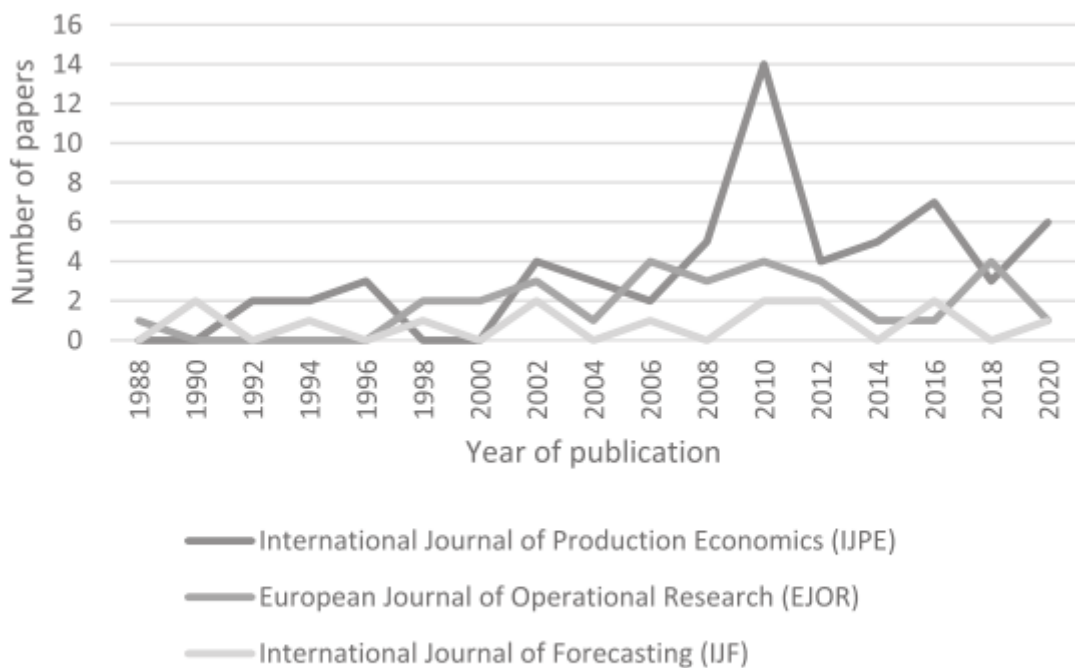
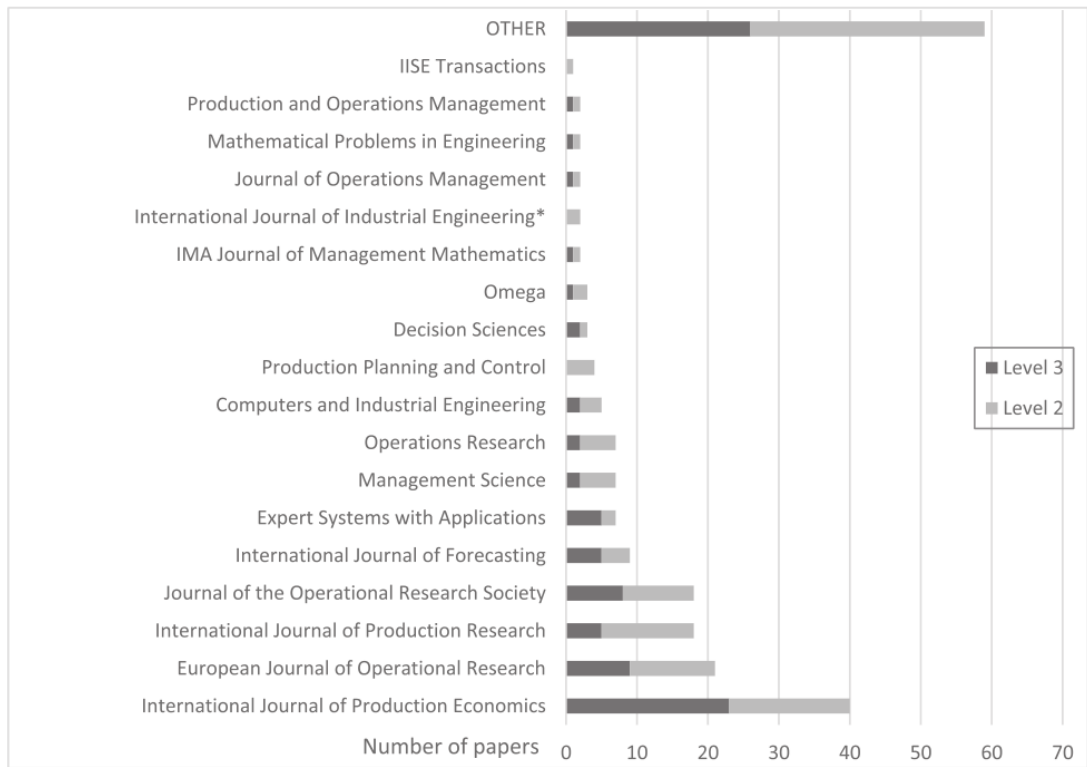
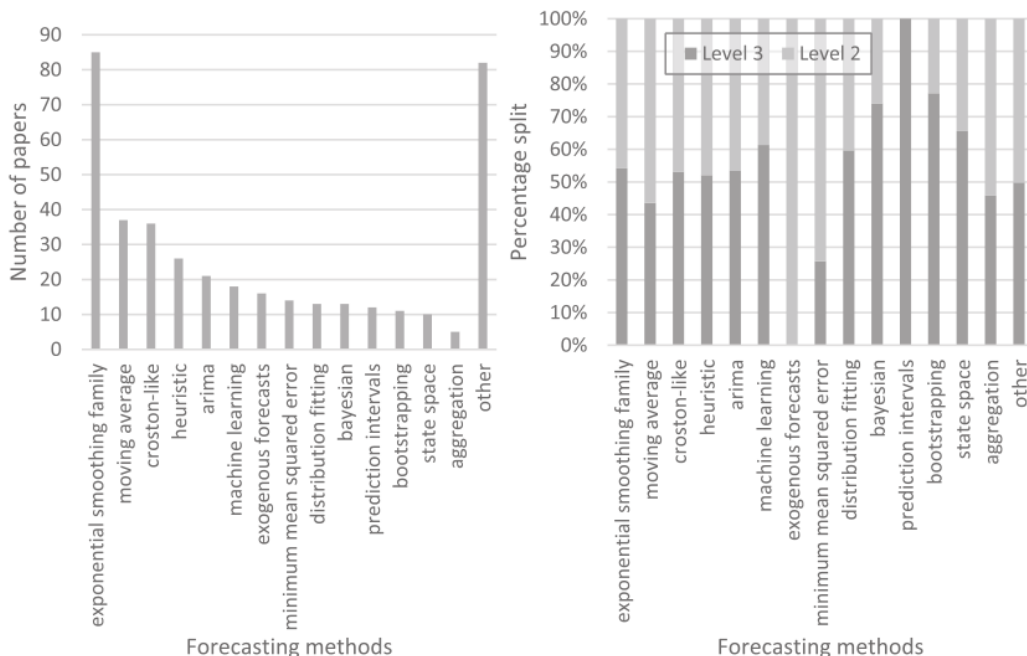


Fig. 10. Integrated (levels 2 and 3) inventory forecasting articles in IJPE, EJOR and IJF. In 2010, IJPE published a special issue on "Supply Chain Forecasting Systems".

预测文献

预测方法在文献中出现频率：指数平滑类、移动平均、Croston类、启发式、ARIMA、机器学习（可能是因为指数平滑经常做Benchmark）；下图是方法分布和这些方法在2级/3级文献的出现比例：

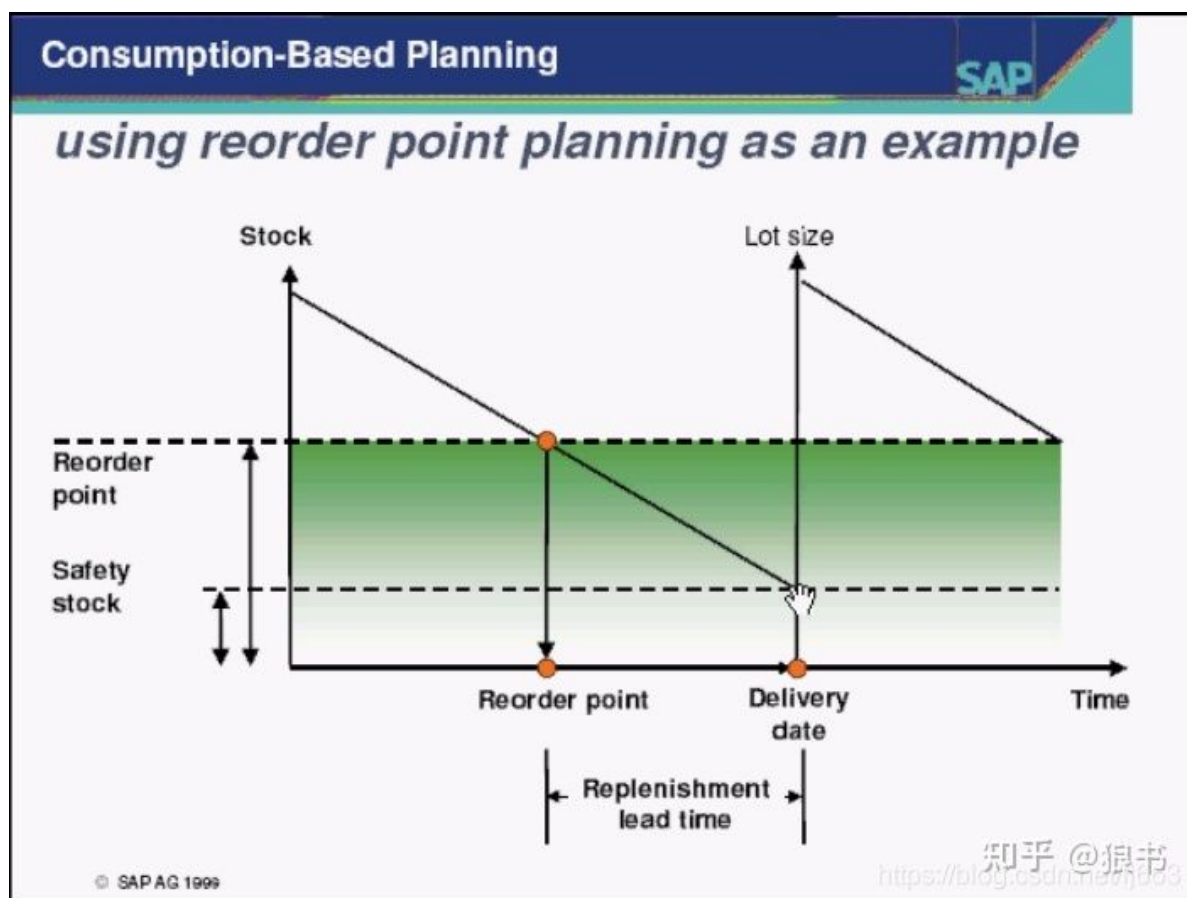
右图一个有趣事实是，关注分布的方法（拟合分布、区间预测、Bootstrap）文献集成等级更高。



预测度量指标：平均平方误差与平均绝对误差占主导。

库存控制文献

库存策略：order up to（最大库存水平策略，即设定最大库存水平，一旦库存小于此水平则立刻补至该水平，否则不补货）出现次数最多（参数是 T ——周期， S ——补货量，通常 T 固定，优化 S ）；其次是 reorder point（重订货点） order quantity（订货量）策略（如下图），优化参数是（ r ——重订货时点， Q ——订货量）。



集成文献中定期订购政策的盛行可能部分归因于以下事实：a)预测周期性导致库存系统周期性；b)周期需求比连续需求现实性更强；以及c)订购策略的健壮性。

库存系统表现度量：最多使用成本函数（库存持有与缺货成本），其次是Cycle service level（循环服务水平）以及库存量/缺货量（避免成本、利润的表示）。

其它信息

- 模拟的使用：139/212，过半；90篇实际数据，100篇理论模拟数据；2级论文用真实数据做模拟比例更高。
- 间歇需求：63（34+29）篇文章涉及。

简单总结

- 二者最常见的组合：指数平滑/移动平均与order up to库存策略的组合。将均值预测与方差估计、假设误差分布组合以求得感兴趣分位数。这种方法可能可以作为复杂策略的benchmark。
- 模拟对集成文献的论点发展起到很大作用。
- 作者认为有前景的方法/领域：**分位数估计**、稳健优化、Bootstrap、贝叶斯库存控制、数据驱动、机器学习、**对分位数与密度的评价**.....

讨论

基本干预：所举例子是Croston类方法的发展，以及解决从预测参数到需求参数的文献。建议是通过更好地**从概念上了解库存和预测的相互作用**，并确定相关的改进机会，将库存和预测统一起来定有很大余地。这种解决方法偏白箱，易于应用。（应该重新回顾一下Croston类文献，重点是库存背景的思考。）

在基本干预基础上，其余内容是上一章认为有前景方向的文献综述。（略）

总结

历史趋势：分别研究——整合——分别研究；间断需求的历史研究是围绕预测与库存控制结合的。

库存角度：三种历史趋势：

- 假设每个观测值都是独立的、相同的分布，来自一个真实的基本分布
- 认识到需求往往是时间相关
- 放松正态性假设或任何分布性或参数性假设，直接从观测值转移到感兴趣的分位数

做整合的前提：解决被违反的假设（当分布假设是稳健的，则不需整合）

要权衡整合的计算代价与收益；最简单的整合是，预测与库存控制的连续应用：预测向文献要评估效用而不只是预测评估指标，而库存向文献要基于现实需求与预测方法假设来制定库存政策。

预测效用实际上是所考虑的库存预测系统在关心的分位数的代理评价，至少是预测方差（虽然有时前二阶矩并不够）。**如果做综合的预测——库存研究，对分布进行预测再提取分位数是最有希望的方法之一。**（目前我的思路是做足够密的分位数估计以得到密度）

贝叶斯易于生成概率预测，但需要额外假设分布；稳健优化/Bootstrap可以避免有问题的假设；机器学习有前景，可以从数据中得到参数并考虑协变量，但要避免过拟合问题以及对比合适基准。

对“库存预测”的研究要扩大到包括对整个库存操作的严格基准评估。要包括一个相关的库存政策，以及精心挑选的一些适当的预测方法和分布假设；参数在底线库存指标上选择，交叉验证应该保留。

综合思考应该为库存预测的共同问题提供基本的、简单的解决方案。