نمودارهای کنترل متغیرها:

$\bar{x}$ chart, R chart, s, s^2 chart

نمودارهای کنترل مشخصه:

P chart, nP chart, c chart, u chart

انتخاب حدود کنترل:

CLT قضیه حد مرکزی ، حدود کنترل 3σ ، حدود خطر 2σ

اندازه نمونه و اندازه تکرار: زیرگروه‌های منطقی

آنالیز و تحلیل نمودارهای کنترل: قوانین حساس سازی برای نمودارهای کنترل

$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ $\qquad$ $UCL = \mu \pm 3\sigma_{\bar{x}}$

حدود کنترل

حدود کنترل نمودارهای شوهارت:

$UCL = \mu_w + L\sigma_w$ حد بالای کنترل

$CL = \mu_w$

$LCL = \mu_w - L\sigma_w$ حد پایین کنترل

انتخاب حدود کنترل و خطاها:

نوع ۱: رسیدن یک نقطه پرت خارج از حدود کنترل باشد

نشان دهنده یک شرایط خارج از کنترل است اگرچه هیچ علت قابل

اشتباه وجود دارد.

$\alpha = P($ فرآیند تحت کنترل باشد | یک سیگنال خارج از کنترل $)$

خطای نوع دوم: درست است یک نقطه بین حدود کنترل باشد اما در

فرآیند واقعاً خارج از کنترل است.

$\beta = P($ فرآیند خارج از کنترل باشد | بدون سیگنال $)$

یک مبادله بین خطای نوع ۱ و نوع ۲ وجود دارد.

۲ حد در نمودارها هست:

حدود اقدام: در صورت یک نقطه از نمودارها خارج از حدود باشد یک تحقیق

در مورد علت قابل انتساب است صورت می‌گیرد و در صورت لزوم اقدامات

اصلاحی انجام می‌شود

حدود خطر: اگر یک یا بیشتر از یک نقطه بین حدود خطر و

حدود کنترل باشد یا بسیار نزدیک به حدود خطر باشد. مشکوک می‌شویم

که روند ممکن نیست به درستی کار کند.

Year. Month. Data. Subject

حدود حفظ ۲ سیگما

$UWL = \mu + 2(\sigma_{\bar{x}})$

$LWL = \mu + 2(\sigma_{\bar{x}})$

اندازه نمودار و دوره نمونه‌گیری مکرر

مطلوب‌ترین نمونه‌گیری ۱. نمونه با اندازه بزرگ ۲. نمونه‌گیری مکرر

اختصاص دادن تلاش نمونه‌گیری

۱. گرفتن نمونه‌های کوچک در فواصل کوتاه

۲. گرفتن نمونه بزرگ در فواصل طولانی

یک نمونه مورد علاقه در صنعت‌ها استفاده یک نمونه با اندازه کوچک و با تکرارهای زیاد

در نمونه‌گیری

طول اجرا (تحلیل‌های تصادفی)

تعداد از نقطه‌هایی که باید قبل از نقطه‌ای رسم شود نشان دهنده یک

شرایط خارج از کنترل است.

$X \sim Ge(P)$

$f_X(x) = (1-p)^{x-1} p \qquad x = 1, 2, \ldots$

$E(x) = 1/p \qquad Var(x) = \frac{1-p}{p^2}$

MENHAJ

Year. Month. Data. Subject

ARL → میانگین طول اجرا

تا هر نمونه از آزمایش که حساسیت در مورد اندازه شود
و تکرار شوند.

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha}$$

$$ARL_1 = \frac{1}{1-\beta}$$

ایرادات نمودارها حدود ARL :

۱- انحراف استاندارد طول اجرا خیلی بزرگ است.

$$SDRL_0 = \frac{\sqrt{1-\alpha}}{\alpha}$$

۲- توزیع هندسی خیلی اریب است. بنابراین میانگین توزیع ARL لازم نیست
دیگر مقدار معمولی برای طول اجراست.

میانگین زمان سیگنال :

$ATS = ARL \times h$ → ساعت

۴۸ : قوانین حساس سازی برای نمودار کنترل :

MENHAJ

Year. Month. Data. Subject

۱- یک نقطه یا بیشتر خارج از حدود کنترلی باشد

۲- دو یا سه نقطه پشت هم خارج از حدود ۲σ باشد ولی داخل حدود کنترلی باشد (هر دو یا سه در یک جهت باشند)

۳- چهار یا ۵ نقطه پشت سر هم خارج از حدود ۱σ باشد

۴- یک دور ۸ تایی پی در پی نقاط یک طرف خط میانی

۵- ۶ نقطه پشت سر هم حالت افزایشی یا کاهشی داشته باشد (صعودی و نزولی)

۶- ۱۵ نقطه پشت سر هم در ناحیه C باشد. Zone C (هر دو بالاتر و یا پایین از خط مرکزی)

۷- ۱۴ نقطه پشت سر هم با حالت نوسانی و تغییر جهت داشته باشیم

۸- هشت نقطه پشت سر هم خارج از Zone C و ناحیه 1σ

۹- اگر حالت سینوسی خاص داشته باشد نمودار مانند (sin)

۱۰- یک یا چند نقطه نزدیک حدود کنترلی یا حدود خطر باشد.

Year. Month. Data. Subject

فاز ۱ و فاز ۲

فاز ۱: خط تولید گردیم به وضعیت نیاز محصول چه کیفیتی دارد مشاهده می‌شود که شخص تولیدکننده میانگین چقدر است یعنی سوابق تولید بدست آورده و حدود کنترل آزمایشی را انتخاب می‌کنیم اگر تحت کنترل باشد مشخص می‌داریم ولی در صورت خارج از کنترل بودن باید عوامل و شرایط به وجود آورنده انحرافات شناسایی شود. دوباره میانگین گرفته و دقت محصول را ارزیابی می‌کنیم

فاز ۲: ما معمولاً فرض می‌کنیم که روند کار منظم است و پایدار فازها دلایل قابل انتساب که در فاز ۲ اتفاق می‌افتد منجر به تغییرات کوچکی در روند می‌شود. زیرا امیدواریم که خطاهای نامطلوب در طول مرحله سیستماتیک فاز اول حذف شده باشد.

$$\mu + Z_{\alpha/2}\,\sigma_{\bar{x}} = \mu + Z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$ و

$$\mu - Z_{\alpha/2}\,\sigma_{\bar{x}} = \mu - Z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

اگر $\bar{x}$ دارای توزیع نرمال با میانگین μ و انحراف استاندارد $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

احتمال $1-\alpha$ بین این بازه است.

اگر $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$ میانگین هر نمونه باشد، بهترین برآوردگر در مورد μ میانگین فرآیند، میانگین بزرگ است:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m}$$

به این ترتیب $\bar{\bar{x}}$ می‌تواند خط مرکزی $\bar{x}$ چارت استفاده شود.

Let $R_1, R_2, \dots, R_m$

دامنه تغییرات هر نمونه باشد.

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$$

دامنه تغییرات کل برابر

حدود کنترل $\bar{x}$ چارت

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{center line} = \bar{\bar{x}}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

حدود کنترل برای R چارت

$UCL = D_4 \bar{R}$

center line $= \bar{R}$

$LCL = D_3 \bar{R}$

حال برای برآورد σ زمانی که آن را نداریم از فرمول روبرو کمک می گیریم: (برای نمودار کنترلی $\bar{x}$)

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

در نتیجه برای نمودار کنترلی $\bar{\bar{x}}$ داریم:

$$\begin{cases} UCL = \bar{\bar{x}} + \dfrac{3}{d_2\sqrt{n}} \cdot \bar{R} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \\ CL = \bar{\bar{x}} \\ LCL = \bar{\bar{x}} - \dfrac{3}{d_2\sqrt{n}} \cdot \bar{R} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \end{cases}$$

خط کشیده ها رو استفاده می کنیم همه جا جواب می دهد.

و به همین ترتیب زمانی که σ نامعلوم است: (برای نمودار کنترلی $\bar{R}$)

در نتیجه برای نمودار کنترلی $\bar{R}$ داریم:

$$\hat{\sigma}_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\begin{cases} UCL = D_4\bar{R} = \bar{R} + 3d_3\dfrac{\bar{R}}{d_2} \\ CL = \bar{R} \\ LCL = D_3\bar{R} = \bar{R} - 3d_3\dfrac{\bar{R}}{d_2} \end{cases}$$

که در آن

$$D_3 = 1 - 3\frac{d_3}{d_2} \quad , \quad D_4 = 1 + 3\frac{d_3}{d_2}$$

خط کشیده ها را استفاده می کنیم همه جا جواب می دهد.

راه های محاسبه توانایی فرآیند:

① شاخص قابلیت فرآیند و برآوردش:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad \text{یا} \quad \hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6(\hat{\sigma})}$$

نکته: اگر $C_p = 1$ باشد،

یعنی محدوده ی USL تا LSL همان 6σ خواهد بود.

نکته: اگر $1 < C_p$ باشد آنگاه: حدود انطباق ما بزرگتر از حدود کنترلی است یعنی ما داریم بیشتر از خواسته تولید می کنیم.

شاخص نسبت قابلیت فرآیند و برآوردش:

$$P = \left(\frac{1}{C_p}\right) * 100 \quad , \quad \hat{P} = \left(\frac{1}{\hat{C}_p}\right) * 100$$

جواب و تفسیر نسبت قابلیت فرآیند یعنی اگر $P = 8\%$ باشد،

ما از 8% باند تولید بعنوان تغییرات استفاده می کنیم

و بطور کلی اگر $P < 10\%$ باشد بهتر است.

② که باید احتمال اینکه یک محصول در محدوده کنترل نباشد را حساب کنیم یعنی مثلاً 1.5 ± 0.5

$$P = \{P(X < 1) + P(X > 2)\} \quad , \quad P * 100 = PPm$$

تعداد قطعه خراب یا نامنطبق در میلیون تولید

★ اگر $C_p < 1$ آنگاه $USL - LSL < \underbrace{UNTL - LNTL}_{6\sigma}$.

★ اگر $C_p = 1$ آنگاه $USL - LSL = 6\sigma$.

★ اگر $C_p > 1$ آنگاه $USL - LSL > 6\sigma$.

زمانی که نمودار ما کلی می باشد و $CL = \mu$ هست،

$3\sigma = LNTL - \mu$ ولی

زمانی که نمودار ما $\bar{x}$ هست و $CL = \bar{x}$ هست،

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{که در آن} \quad 3\sigma_{\bar{x}} = LCL - \mu$$

تابع مشخصه عملکرد OC: فرض کنیم فرآیند ما بایستی μ_0 و σ (واریانس و میانگین) را داشته باشد و این دو نیز معلوم است. اگر میانگین جدید ما به صورت $\mu_1 = \mu_0 + k\sigma$ باشد آنگاه احتمال اینکه فرآیند ما از کنترل خارج شود ولی هنوز بین حدود باشد را β می‌گیریم و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

می‌توانه تا حدودا آنگاه تغییر کنه.

$$\beta = \Phi\left(L - k\sqrt{n}\right) - \Phi\left(-L - k\sqrt{n}\right)$$

که در آن $L = 3\sigma$ یا نصف طول حدود هست.

n اندازه نمونه است.

★ می‌توان برای تعیین اندازه نمونه از نمودار OC استفاده کرد ★

---

n و β

$\lambda = \sigma_1 / \sigma_0$ که $\sigma_1 > \sigma_0$

$$ARL = \frac{1}{1-\beta} = x$$

یعنی بطور متوسط از هر n نمونه که می‌گیریم x تاش بدون خطا هست.

این نمودار R نیز نمودار OC جداگانه‌ای دارد که می‌توان از آن به عنوان تعیین کننده اندازه نمونه کمک گرفت.

اگر σ^2 ما مجهول باشد برآورد آن را استفاده می‌کنیم

$$S^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \Rightarrow E[S] = c_4\sigma \quad , \; c_4 \neq 1$$

در نمودار S

$$\begin{cases} UCL = c_4\sigma + 3\sigma\sqrt{1-c_4^2} = B_6\sigma \\ CL = c_4\sigma \\ LCL = c_4\sigma - 3\sigma\sqrt{1-c_4^2} = B_5\sigma \end{cases}$$

که در آن $B_6 = c_4 + 3\sqrt{1-c_4^2}$ و $B_5 = c_4 - 3\sqrt{1-c_4^2}$

آنهایی که خط دارند کاربرد اصلی را دارند.

اگر σ^2 ما مجهول باشد آنگاه کل m نمونه m تایی می‌گیریم

$$\bar{S} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} S_i$$

در نمودار S

$$\begin{cases} UCL = B_4\bar{S} = \bar{S} + \frac{3\bar{S}}{c_4}\sqrt{1-c_4^2} \\ CL = \bar{S} \\ LCL = B_3\bar{S} = \bar{S} - \frac{3\bar{S}}{c_4}\sqrt{1-c_4^2} \end{cases}$$

که در آن $B_3 = B_5 / c_4$ و $B_4 = B_6 / c_4$

آنهایی که خط دارند کاربرد اصلی را دارند.

زمانی که $\hat{\sigma} = \bar{S}/c_4$ باشد آنگاه

نمودار $\bar{x}$

$$\begin{cases} UCL = \bar{\bar{x}} + \frac{3\bar{S}}{c_4\sqrt{n}} = A_3\bar{S} + \bar{\bar{x}} \\ CL = \bar{\bar{x}} \\ LCL = \bar{\bar{x}} - \frac{3\bar{S}}{c_4\sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} - A_3\bar{S} \end{cases}$$

که در آن $A_3 = \frac{3}{c_4\sqrt{n}}$

برای تعیین حدود کنترلی نمودارهای $\bar{X}$ و $\bar{R}$ بصورت زیر عمل می کنیم (زمانی که حجم نمونه های ما تغییر می کند.):

$$\bar{X}\ \text{نمودار} = \begin{cases} UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \left[\dfrac{d_2(new)}{d_2(old)} \right] \times \bar{R}_{old} \\ CL = \bar{\bar{X}} \\ LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \left[\dfrac{d_2(new)}{d_2(old)} \right] \times \bar{R}_{old} \end{cases}$$

$$R\ \text{نمودار} = \begin{cases} UCL = D_4 \left[\dfrac{d_2(new)}{d_2(old)} \right] \times \bar{R}_{old} \\ CL = \bar{R}_{new} = \left[\dfrac{d_2(new)}{d_2(old)} \right] \times \bar{R}_{old} \\ LCL = \max \left\{ 0, D_3 \left[\dfrac{d_2(new)}{d_2(old)} \right] \times \bar{R}_{old} \right\} \end{cases}$$

* در نمودارهای $\bar{X}$ هرچه نمونه ما بزرگتر باشد، حدود ما نیز کوچکتر می باشد ولی در نمودارهای R هرچه نمونه ما بزرگتر باشد حدود هم بزرگتر می شوند.

انواع الگوها در نمودارهای $\bar{X}$ و R و دلایل هرکدام:

① الگوی دوره ای یا cyclic: در این حالت نمودارهای ما نوسان دارند مانند sin و بیشتر بخاطر تغییرات محیطی هست و یا به دلیل خستگی اپراتور ها و یا تغییرات دوره ای که در ماشین آلات هست، رخ می دهد.

اگر نمودار ما R بود آنوقت نیز می تواند این الگو ناشی از، نگهداری نادرست ماشین آلات (تعویض و سرویس و ...) و یا خستگی اپراتور ها می تواند موثر باشد و یا خوردگی و فرسودگی ابزارهای مصرفی خط تولید باشد.

② الگوی آمیخته یا mixture: در این حالت بیشتر داده ها از خط مرکزی فاصله دارند و معمولاً به این دلیل هستش که توزیع داده های ما از چند جا باهم آمیخته اند و گاهی اوقات کنترل بیش از حد دلیل آن می باشد و شاید از منابع گوناگون نمونه برداری صورت می گیرد.

③ الگوی روند یا trend: در فرآیند یک خط یا روند نزولی و یا صعودی دیده می شود و بهترین دلیل آن فرسایش و یا قدیمی بودن دستگاه و یا مثلاً مواد های قدیمی بکار می رود و ... و گاهی اوقات خستگی اپراتور ها و عدم نظارت بروی آنها و یا می تواند ناشی از نوسانات فصلی باشد.

④ الگوی طبقه بندی شدن: در این نمودار در بخش هایی تمرکز را در کنار خط مرکزی می بینیم و بیشتر نیز به دلیل خطای محاسباتی هست، و یا زیرگروه های منطقی ما، زیرگروه های خوبی نبوده اند. ما باید نمودارهای R و $\bar{X}$ را بصورت توام و هم زمان در نظر بگیریم،

اگر R تحت کنترل نباشد به تحت کنترل بودن $\bar{X}$ نیز نمی توان اعتماد کرد ولی برعکس آن برقرار نیست.

اگر یکی از $\bar{X}$ ها و R بالا رفت و آن یکی پایین و یا هر دو بالا و یا پایین رفتند، توزیع ما نرمال نخواهد بود.

اگر توزیع نرمال نباشد یعنی: اگر اندازه ی نمونه به اندازه ی کافی حتی 5-4 تا باشد پیش فرض های نرمال را می دهد (برای نمودار $\bar{X}$) و یا در توزیع گاما وقتی چولگی باشد دیگه اندازه نمونه 5 و 4 کفایت می کند

در نمودار های کنترلی R حتی اگر توزیع فرآیند ما نرمال هم باشد، نمودار R هم نرمال نیست و 3δ عملاً معنی ندارد

اگر فرض کنیم که اندازه‌ی نمونه‌ی n_i تا در مرحله i‌ام هست آنگاه برای محاسبه‌ی $\bar{\bar{X}}$ و $\bar{S}$ چنین عمل می‌کنیم:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^{m} n_i \bar{X}_i}{\sum_{i=1}^{m} n_i} \qquad \bar{X}_i \to \text{میانگین نمونه i‌ام}$$

$$\bar{S} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{m} (n_i - 1) S_i^2}{\sum_{i=1}^{m} n_i - m} \right]^{\frac{1}{2}}$$

بعد از محاسبه‌ی $\bar{S}$ و $\bar{\bar{X}}$ حال برای بدست آوردن حدود هر نمونه از $\bar{S}$ و $\bar{\bar{X}}$ بخصوص خودش استفاده می‌کنیم و n_i خودش و باید ضرایب A_3 و B_3 و B_4 از جدول برای n_i باشد و برای هر نمونه می‌تواند این حدود متفاوت باشد.

اگر تعداد نمونه‌های ما زیاد باشد و اندازه‌ی نمونه‌ها زیاد تغییر نکند حدود کنترلی را می‌توان برحسب $\bar{n}$ معین کرد.

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_4}$$

$\Rightarrow$ S^2 نمودار

$$\begin{cases} UCL = \dfrac{\bar{S}^2}{n-1} \chi^2_{(\alpha/2,\, n-1)} \\ CL = \bar{S}^2 \\ LCL = \dfrac{\bar{S}^2}{n-1} \chi^2_{(1-\alpha/2,\, n-1)} \end{cases}$$

مشاهدات انفرادی عملاً زیرگروه خاصی ندارند و $n=1$ چند حالت از حالتهایی که مشاهدات حالت انفرادی دارند:

1. ممکن است فناوری که ما از آن برای ارزیابی و بازبینی خطوط کنترلی، بصورت اتوماتیک کار‌ها را می‌کنند مورد به مورد نظارت می‌کند.
2. نرخ تولید خیلی پایین است و سرعت تولید کم است.
3. تکرار اندازه‌گیری در فرآیند تولید فقط بخاطر خطای اندازه‌گیری است.
4. اندازه‌هایی که ما ثبت می‌کنیم مربوط به یک محصول هست در مقاطع مختلف.
5. تکرار آزمایش عملاً نتیجه متفاوتی را ایجاد نمی‌کند.
6. در کسب و کار‌ها و فعالیت‌های خدماتی دلیلی برای تشکیل زیرگروه‌های منطقی نیست.

در موارد بالا از نمودار‌های کنترلی برای واحد‌های انفرادی استفاده می‌کنیم.

برای تعیین حدود این نمودار‌های کنترلی برای واحد‌های انفرادی باز نمودار‌های مبتنی بر دامنه متحرک یا برد متحرک کمک می‌گیریم:

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}| \rightarrow n = 2 \rightarrow D_4, D_3 \rightarrow \begin{cases} UCL = D_4 \overline{MR} \\ CL = \overline{MR} \\ LCL = D_3 \overline{MR} \end{cases}$$

$$\begin{cases} UCL = \bar{X} + \dfrac{3\overline{MR}}{d_2} \quad (d_2 \to n=2) \\ CL = \bar{X} \\ LCL = \bar{X} - \dfrac{3\overline{MR}}{d_2} \end{cases}$$

APPENDIX VI

Factors for Constructing Variables Control Charts

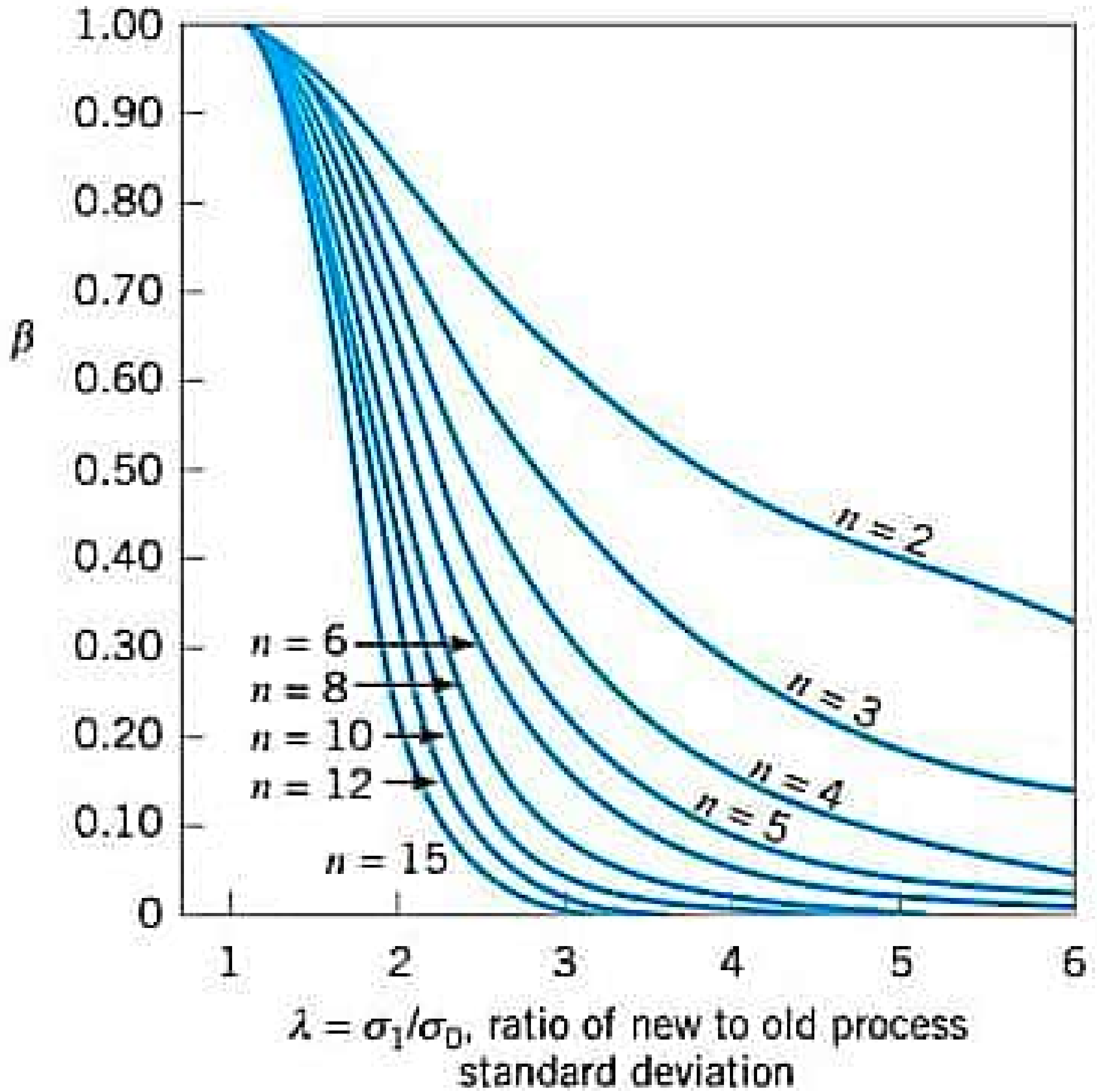
	Chart for Averages			Chart for Standard Deviations							Chart for Ranges					
Observations in	Factors for Control Limits			Factors for Center Line		Factors for Control Limits				Factors for Center Line		Factors for Control Limits				
Sample, n	A	A_2	A_3	c_4	$1/c_4$	B_3	B_4	B_5	B_6	d_2	$1/d_2$	d_3	D_1	D_2	D_3	D_4
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

For $n > 25$.

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}} \qquad A_3 = \frac{3}{c_4\sqrt{n}} \qquad c_4 \cong \frac{4(n-1)}{4n-3}$$

$$B_3 = 1 - \frac{3}{c_4\sqrt{2(n-1)}} \qquad B_4 = 1 + \frac{3}{c_4\sqrt{2(n-1)}}$$

$$B_5 = c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}} \qquad B_6 = c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$$



1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0
β
$n = 2$
$n = 3$
$n = 4$
$n = 5$
$n = 6$
$n = 8$
$n = 10$
$n = 12$
$n = 15$
1
2
3
4
5
6
$\lambda = \sigma_1/\sigma_0$, ratio of new to old process standard deviation

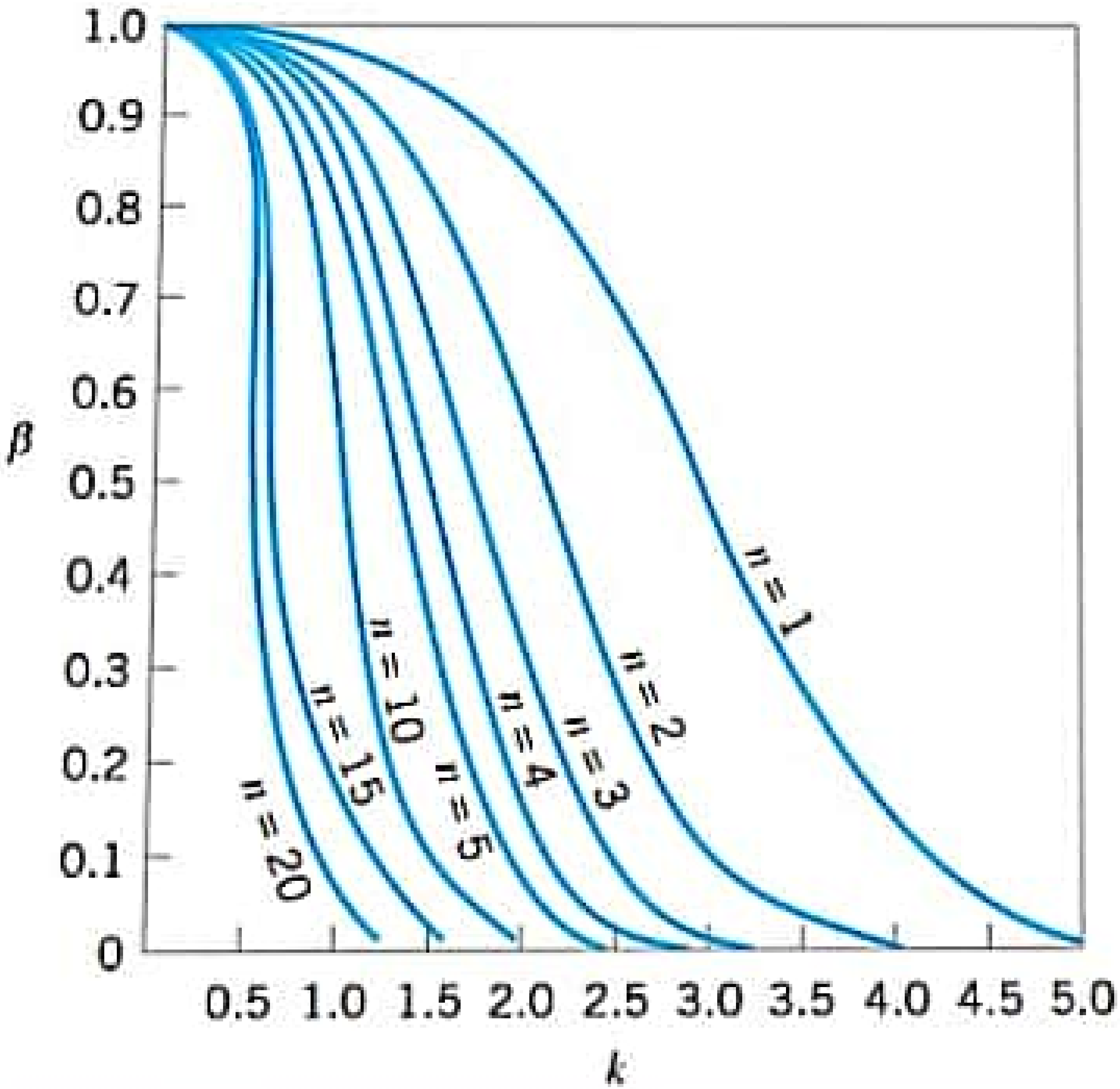

1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
β
n = 1
n = 2
n = 3
n = 4
n = 5
n = 10
n = 15
n = 20
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
k

TABLE 6.9

Formulas for Control Charts, Standards Given

Chart	Center Line	Control Limits
$\bar{x}$ (μ and σ given)	μ	$\mu \pm A\sigma$
R (σ given)	$d_2\sigma$	$\mathrm{UCL} = D_2\sigma$, $\mathrm{LCL} = D_1\sigma$
s (σ given)	$c_4\sigma$	$\mathrm{UCL} = B_6\sigma$, $\mathrm{LCL} = B_5\sigma$

TABLE 6.10

Formulas for Control Charts, Control Limits Based on Past Data (No Standards Given)

Chart	Center Line	Control Limits
$\bar{x}$ (using R)	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} \pm A_2\bar{R}$
$\bar{x}$ (using s)	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} \pm A_3\bar{S}$
R	$\bar{R}$	$\mathrm{UCL} = D_4\bar{R}$, $\mathrm{LCL} = D_3\bar{R}$
s	$\bar{s}$	$\mathrm{UCL} = B_4\bar{s}$, $\mathrm{LCL} = B_3\bar{s}$