

Statistische Methoden der Netzplantechnik

von

D. I. Golenko



BSB B. G. TEUBNER VERLAGSGESELLSCHAFT

Д. И. Голенко, Статистические методы сетевого планирования и управления

Erschienen im Verlag NAUKA, Moskau, 1968

Deutsche Übersetzung und wissenschaftliche Redaktion:

Dr. V. Ziegler, Leipzig

ISBN 978-3-519-02013-4 ISBN 978-3-322-94884-7 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-322-94884-7

VLN 294-375/70/72

ES 19 B 5

Copyright 1972 by BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1972

Satz: Leipziger Druckhaus, Grafischer Großbetrieb

Vorwort

Der wissenschaftlich-technische Fortschritt unserer Zeit bringt es mit sich, daß die Konstruktionen immer komplizierter werden und daß die Anzahl der neu zu schaffenden Objekte der neuen Technik ständig wächst. Die meisten derartigen Objekte sind komplizierte Gebilde, die aus zahlreichen Aggregaten, Mechanismen, Geräten, Automatisierungs- und Kommunikationselementen usw. bestehen. Zu derartigen komplizierten Systemen gehören z. B. kosmische Flugapparate, Turbinen, Wasserkraftwerke, umfangreiche Industriewerke, industrielle Versuchsanlagen und viele andere moderne technische Einrichtungen. In der jüngsten Zeit wurde die Systemtheorie zum Forschungsgebiet zahlreicher Wissenschaftler in der ganzen Welt. In der Sowjetunion haben sich insbesondere GLUSCHKOW [24], PETROW [90], BUSLENKO [8, 62] und viele andere um die Entwicklung der Systemtheorie verdient gemacht.

Zu den Hauptproblemen der Systemtheorie gehört die Konstruktion mathematischer Modelle für die betrachteten Systeme. Diese sollen einerseits den Ablauf der Prozesse mit ausreichender Vollständigkeit widerspiegeln und daher auch ausreichend kompliziert sein. Andererseits sollen sie aber auch hinreichend einfach sein, damit sie eine überschaubare Beschreibung gestatten und sich auch im Laufe einer absehbaren Zeit untersuchen und auswerten lassen.

Mit anderen Worten, das Problem besteht in der Schaffung eines *inhaltsgerechten* und *adäquaten* Modells, mit dessen Hilfe verschiedene Aufgaben formuliert und gelöst werden können, die sich bei der Entwicklung und Steuerung des Systems ergeben. Das ist um so wichtiger, als diese Steuerung die Kenntnis solcher seiner Eigenschaften voraussetzt wie Zuverlässigkeit, Stabilität, Genauigkeit, Störungsempfindlichkeit, die von der Struktur und den Parametern des Systems abhängig sind. Diese Kenntnisse lassen sich aber nur durch Konstruktion und Untersuchung adäquater mathematischer Modelle gewinnen, zu denen insbesondere auch die Modelle einzelner Volkswirtschaftszweige gehören.

Die weitaus meisten Großvorhaben enthalten zahlreiche zufallsabhängige Parameter verschiedener Art, und ihre Effektivität hängt vielfach von Zufallsfaktoren ab. Es liegt auf der Hand, daß die Untersuchung solcher Objekte sowohl rein wissenschaftlich als auch praktisch von großer Bedeutung ist.

Gegenwärtig beobachtet man häufig Situationen, in denen bei der Untersuchung von zufallsbeeinflussten Systemen die in ihnen auftretenden Zufallsparameter durch feste Werte (z. B. den Erwartungswert) ersetzt werden, wonach dann ein deterministisches Modell untersucht wird. Solche Substitutionen führen häufig zu erheblichen Fehlern und können darüber hinaus die Effektivität des gesamten Systems beträchtlich herabsetzen.

Nach unserem Dafürhalten müssen in derartigen Fällen die Methoden der statistischen Modellierung zum Einsatz gelangen, und zwar nicht nur zur algorithmischen Erfassung der Schätzwerte für die Parameter, sondern auch als integrierende Bestandteile des Systems und insbesondere seines Steuerbereichs. Man

benötigt daher statistische Prinzipien der Steuerung moderner komplizierter Systeme. Die Lösung dieses Problems wird deren Funktionsweise verändern und diese zuverlässiger gestalten.

Der Verfasser dieses Buches hat sich die Aufgabe gestellt, ein derartiges Problem für einen besonders komplizierten Fall auf dem Gebiet der technischen Kybernetik, und zwar die Planung und Leitung von Großvorhaben mit Hilfe von Netzplangraphen, zu lösen. Wir wollen derartige Systeme im weiteren als *netzplantechnische Systeme* oder kurz *NPT-Systeme* bezeichnen.

Im Laufe der letzten Jahre hat sich die Netzplantechnik stürmisch entwickelt, und ihr Anwendungsbereich wurde ständig umfangreicher. Eine besonders starke Entwicklung erfuhren die NPT-Systeme in den USA. Dort findet neben anderen vornehmlich das sog. PERT-Verfahren Anwendung. Alle diese Verfahren gewährleisten eine Automatisierung bei der Planung und Realisierung neuer Großvorhaben. Das PERT-Verfahren und seine Spielarten werden gegenwärtig auf den verschiedensten Gebieten angewandt, z. B. im Bauwesen, im Maschinenbau, bei der Entwicklung und Produktion von Rechenanlagen, im Raketen-, Flugzeug- und Triebwerksbau, bei der Projektierung und Realisierung von Energieerzeugungs- und Chemieanlagen usw.

Gegenwärtig umfaßt die Projektierung und Realisierung eines Großvorhabens hunderte, ja häufig tausende Etappen, von denen viele ihrerseits eine Untersuchungs- und Entwicklungsarbeit erfordern und darüber hinaus noch zufallsabhängig sind. Eine Verzögerung oder gar ein Ausfall der Arbeiten zur Realisierung eines Teils des Projekts, die sich häufig im Rahmen des Gesamtprojekts nur schwer übersehen lassen, können Verzögerungen hervorrufen bzw. die termingerechte Realisierung des Projekts in Frage stellen.

Die NPT-Systeme zeichnen sich durch folgende Besonderheiten aus:

1. Systematische Behandlung des Planungs- und Realisierungsprozesses für ein neues komplexes System. Ein derartiger Prozeß wird als ein einheitlicher kontinuierlicher Prozeß von Operationen aufgefaßt, die wechselseitig voneinander abhängig und auf das Erreichen des Endziels ausgerichtet sind. Die Kollektive, die diesen Prozeß realisieren, werden ebenfalls als einheitliche Glieder des Systems angesehen.

2. Verwendung spezieller mathematischer Modelle, der sog. *Netzplanmodelle*, die den Projektierungs- und Realisierungsprozeß für ein Vorhaben in Gestalt gerichteter Graphen mit vorgegebenen Bewertungen der Graphenelemente darstellen. Man erhält mit Hilfe solcher Modelle eine logisch-mathematische Beschreibung des Prozesses und hat die Möglichkeit, die Berechnung der wichtigsten Parameter des Prozesses, wie etwa Gesamtdauer, Arbeitsaufwand, Kosten usw., zu algorithmisieren.

Die NPT-Systeme versetzen uns in die Lage, periodisch operative Informationen für alle Entwicklungsstufen und für alle Komponenten des Projekts zu erfassen und deren Einfluß auf den gesamten Realisierungsablauf des Projekts aufzuzeigen. Die Anwendung eines NPT-Systems gestattet darüber hinaus, Unterbrechungen oder Störungen im Ablauf des Programms im voraus zu erkennen sowie Daten über den Einfluß von Projektänderungen auf den Programmablauf einzuschätzen. Besonders effektiv ist die Anwendung solcher Systeme, wenn die Anzahl der zur Realisierung erforderlichen Arbeitsgänge und der an der Realisierung beteiligten Auftragsbearbeiter sehr groß ist, deren Arbeit koordiniert werden muß, um die Realisierung des Programms zu den vorgegebenen Terminen zu gewährleisten.

Die vorliegende Monographie ist der Behandlung mathematischer Modelle in NPT-Systemen gewidmet, deren Charakteristika Zufallsfaktoren enthalten. In diesem Falle wird die Analyse und Berechnung der Parameter wesentlich komplizierter. Aber gerade solche Modelle benötigt man bei der Planung und Leitung wissenschaftlicher Forschungsprojekte oder bei Experimentalkonstruktionen, die bekanntlich der Einwirkung zahlreicher Zufallsfaktoren unterliegen.

Das erste Kapitel des Buches ist einführender Natur und dient der Beschreibung der Struktur und der Klassifizierung der NPT-Systeme. Ferner behandelt es die Wirkungsweise eines solchen Systems auf verschiedenen Stufen sowohl bei der Aufstellung des Ausgangsplanes als auch während der operativen Leitung des Realisierungsprozesses. Den Hauptinhalt des Kapitels bildet das Projekt eines industriezweiggebundenen NPT-Systems, das unter der Leitung von NAJDOW-SHELESOW [95] mit Beteiligung des Verfassers erarbeitet wurde. Darüber hinaus werden hier einige bekannte Parameter beschrieben, die bei deterministischen Netzplanmodellen verwendet werden.

Im zweiten Kapitel wird das Problem der Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Zeitschätzwerte der Vorgänge im Netzplanmodell erörtert. Dabei werden die Methoden beschrieben und kritisch eingeschätzt, nach denen die Ermittlung dieser Schätzwerte vorgenommen wird. Mit anderen Worten, das Kapitel behandelt die Methodik der Informationsgewinnung für ein Netzplanmodell mit zufallsabhängigen Zeitschätzwerten für die Vorgänge und untersucht die Frage, ob diese Methodik zu adäquaten Modellen führt.

Im dritten Kapitel werden die analytischen Verfahren zur Berechnung der Parameter für das gesamte Netzplanmodell unter der Voraussetzung behandelt, daß die Zeitschätzwerte Größen sind, die jeweils einer Zufallsvariablen beigemessen werden.

Im darauffolgenden Kapitel wird das gleiche Problem mit Methoden der statistischen Modellierung gelöst.

Das fünfte Kapitel ist der Betrachtung stochastischer Netzplanmodelle gewidmet, einer wichtigen Spielart unter den Netzplanmodellen. Ihre Konstruktion wird bestimmt durch den Zufallscharakter der Struktur eines Netzplanes, d. h., die Tatsache, daß gewisse Elemente bei der Projektierung und Schaffung eines neuen Projekts zwar auftreten können, aber nicht notwendig auftreten müssen. Daraus resultiert auch die zufallsabhängige Topologie des Netzplanmodells.

Im sechsten Kapitel werden die Anwendungsmöglichkeiten stochastischer Methoden bei der operativen Leitung eines NPT-Systems sowie bei einigen anderen wichtigen Aufgaben untersucht. Dazu gehören z. B. die Ermittlung der Frequenz, mit der gewisse Netzplankontrollen durchgeführt werden müssen, wobei diese Frequenz je nach Leitungsebene in demselben NPT-System verschieden sein kann. Ferner gehören dazu die Methoden zur Konstruktion der Kalenderterminpläne usw.

Im siebenten und abschließenden Kapitel werden die statistischen Methoden zur Optimierung von Netzplanmodellen in NPT-Systemen behandelt. Diese Optimierungen beziehen sich sowohl auf die Aufstellung eines Ausgangsplanes als auch auf den Zeitraum der operativen Leitung. Als Optimalitätskriterien dienen in der Regel Zeitparameter unter der Bedingung beschränkt verfügbarer materieller oder finanzieller Ressourcen.

Den Optimierungsalgorithmen liegt eine Kombination aus dem Monte-Carlo-Verfahren und dem Verfahren der lokalen zufälligen Suche zugrunde. Die beschriebene Methodik gestattet es, ein optimales Gebiet im Lösungsraum zu ermitteln, das

nur wenig vom globalen Optimum abweicht. Desgleichen werden einige „Hybridalgorithmen“ beschrieben, in denen heuristische oder halbheuristische und exakte Optimierungsverfahren vereinigt sind.

Im abschließenden Kapitel werden ferner einige aussichtsreiche Probleme der Anwendung statistischer Methoden in NPT-Systemen und einigen Modifikationen dieser Systeme angeschnitten.

Es sei erwähnt, daß gegenwärtig in verschiedenen NPT-Systemen zahlreiche mathematische Verfahren entstanden sind und praktisch angewandt werden, die häufig kaum einen Zusammenhang untereinander aufweisen. Das gilt insbesondere für Verfahren, die auf den verschiedenen Einsatzstufen der NPT-Systeme zum Einsatz gelangen. Aus diesem Grunde ist der Stoff des vorliegenden Buches so angeordnet, daß verschiedene Kapitel (3, 5, 6 und 7) unabhängig voneinander und in beliebiger Reihenfolge gelesen werden können. Allerdings setzt die Lektüre dieser Kapitel die Kenntnis des ersten und zweiten und zum Teil auch des vierten Kapitels voraus.

Im Gegensatz zur allgemeinen Tradition der mathematischen Monographien über Probleme der Netzplantechnik hatte sich der Verfasser zum Ziel gesetzt, die Anwendung der statistischen Verfahren nicht nur am Netzplanmodell selbst zu demonstrieren, sondern auch unter anderen Einsatzaspekten eines NPT-Systems (Organisationsteil, Normativschätzungen, Leitungsprobleme usw.). Aus diesem Grunde wurden in die Monographie verschiedene Mitteilungen über die organisatorische Struktur und die Einsatzstufen eines NPT-Systems aufgenommen, obwohl gerade der letzte Aspekt in manchen Fällen die Geschlossenheit der Darstellung sprengt.

Nach Meinung des Verfassers kann das vorliegende Buch sowohl den Wissenschaftlern nützlich sein, die an einer Weiterentwicklung der mathematischen Methoden der Netzplantechnik arbeiten, als auch den Spezialisten, die sich mit der Verwirklichung der Netzplanprojekte sowie mit ihrer experimentellen Erprobung befassen.

Der Verfasser möchte die Gelegenheit wahrnehmen, hiermit seinen Dank an N. E. ARCHANGELSKI, M. K. BABUNASCHWILI, S. J. WILENKIN, N. A. LEWIN, I. E. MAISLIN, A. A. MESCHKOW und W. I. RYBALSKY für die wertvolle Hilfe auszusprechen, die ihm bei der Abfassung des Buches erwiesen wurde.

Ein besonderer Dank des Verfassers gilt N. M. ORLOWA für die Sammlung und Bearbeitung des Informationsmaterials bei der Vorbereitung des Manuskripts.

D. GOLENKO

Inhalt

1. Die Netzplantechnik als Mittel der Planung und Leitung	9
1.1. Klassifizierung der Systeme der Netzplantechnik	9
1.2. Der Ablauf der Planung und Leitung mit Hilfe eines netzplantechnischen Systems	12
1.3. Die wichtigsten Parameter des Netzplanmodells im NPT-System	17
1.4. Die Einsatzstufen eines NPT-Systems	30
1.5. Einige Algorithmen zur Berechnung der Parameter für deterministische Netzpläne	41
2. Die Verteilungsfunktionen für die Wahrscheinlichkeit der zeitlichen Schätzwerte in Netzplanmodellen	47
2.1. Begründung für die Anwendung einer bestimmten Verteilungsfunktion für die zeitlichen Schätzwerte in NPT-Systemen	47
2.2. Abschätzung der Parameter des Verteilungsgesetzes beim PERT-Verfahren	51
2.3. Einige Modifikationen des wahrscheinlichkeitstheoretischen Apparates für das PERT-Verfahren	56
2.4. Das wahrscheinlichkeitstheoretische Netzplanmodell auf der Grundlage zweier Zeitschätzungen	65
2.5. Statistische Verfahren für die Schätzwerte in NPT-Systemen	71
3. Analytische Methoden zur Berechnung der zeitlichen Parameter eines Netzplanmodells als Ganzes	76
3.1. Methoden, die beim PERT-Verfahren verwendet werden	76
3.2. Die analytischen Verfahren von FULKERSON-CLINGEN	87
3.3. Das Verfahren von WILENKIN zur Approximation der Verteilung der Realisierungsdauer eines Netzplanprojekts	93
3.4. Das analytische Verfahren von MARTIN mit einer Netzplantransformation als Grundlage	96
3.5. Das Verfahren der Analyse der signifikanten Wege von MESCHKOW	100
4. Die Anwendung der statistischen Modellierung (Monte-Carlo-Methode) in NPT-Systemen	112
4.1. Das allgemeine Blockschema des Monte-Carlo-Algorithmus	112
4.2. Die wahrscheinlichkeitstheoretischen Parameter eines Netzplanmodells mit Zufallsschätzwerten für die Vorgänge	124
4.3. Abschätzung der Genauigkeit für die nach der Monte-Carlo-Methode ermittelten wahrscheinlichkeitstheoretischen Parameter eines Netzplanmodells	128
4.4. Modellierung korrelierter Vorgänge im Netzplanmodell	138
4.5. Anwendung der statistischen Modellierung zur Abschätzung von Kostenparametern in NPT-Systemen	142
4.6. Statistische Modellierung umfangreicher Netzpläne durch Zerlegung in Teilnetze	148
4.7. Statistische Modellierung umfangreicher Netzpläne nach der Methode der äquivalenten Transformationen	153
4.8. Einige Algorithmen der statistischen Modellierung, die der Anwendung auf elektronischen Digitalrechnern besonders angepaßt sind	158
4.9. Anwendung der statistischen Modellierung in realen NPT-Systemen	164

5. Stochastische Netzplanmodelle (Entscheidungsnetzwerke) 170

5.1. Die mathematische Beschreibung eines stochastischen Netzplanmodells für einen Operationenkomplex 170

5.2. Das stochastische Netzplanmodell als verzweigter Wahrscheinlichkeitsprozeß 176

5.3. Die Berechnung der Parameter eines stochastischen Netzplanmodells auf einer EDVA 192

5.4. Ein stochastisches Netzplanmodell, das auf einer algebraischen Transformation der Graphen beruht 200

6. Statistische Methoden bei der Planung und Leitung mit Hilfe eines NPT-Systems 207

6.1. Einige Probleme der Dynamik des Produktionsprozesses in NPT-Systemen 207

6.2. Ermittlung der Befragungshäufigkeit bei der operativen Leitung mit Hilfe eines NPT-Systems . 214

6.3. Probleme der hierarchischen Struktur eines Netzplanmodells auf der Stufe der operativen Leitung 219

6.4. Statistische Methoden auf der Stufe der Erarbeitung des Ausgangsplanes im NPT-System .. 222

6.5. Die operative Leitung eines NPT-Systems unter Berücksichtigung des Kalenderterminplanes .. 227

6.6. Die operative Leitung eines mehrere Netzplangraphen umfassenden komplexen NPT-Systems auf der Grundlage der Bedienungstheorie 234

7. Statistische Verfahren zur Optimierung von Netzplanmodellen 244

7.1. Ein heuristischer Algorithmus zur Optimierung von Netzplanmodellen mit Zufallsschätzwerten für die Dauer der Vorgänge 244

7.2. Optimierung von Netzplanmodellen mit determinierten Schätzwerten für die Vorgänge 253

7.3. Optimierung der Realisierungsdauer von Multinetzplanprojekten bei beschränkt verfügbaren Ressourcen 265

7.4. Einige halbheuristische Methoden zur Optimierung deterministischer Netzplanmodelle 275

Literatur 280

Register 284