

# Performance Forecasting

Marina Tropmann (mtr@is.informatik.uni-kiel.de)<sup>1</sup>

Bernhard Thalheim (thalheim@is.informatik.uni-kiel.de)<sup>1</sup>

Ralf Korff (ralf.korff@vattenfall.de)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technologie der Informationssysteme, Institut für Informatik  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstr. 40, 24098 Kiel

<sup>2</sup>Vattenfall Europe Information Services GmbH  
Kopenhagener Str. 83-89, 13158 Berlin

## Zusammenfassung

Schon seit mehreren Jahrzehnten wird bei meisten Unternehmen Performance Tuning von Rechnersystemen betrieben. Dieses Thema wurde wie von der Seite der Unternehmen als auch von der Wissenschaft mittlerweile in zahlreichen unterschiedlichen Aspekten erforscht und ausgearbeitet. Es existieren inzwischen viele wissenschaftliche Artikel und Bücher zu dem Thema, wie z.B. von Dennis Shasha und Philippe Bonnet „Database Tuning: Principles, Experiments, and Troubleshooting Techniques“ [8] oder von Sitansu S. Mittra „Database Performance Tuning and Optimization“ [4], nur um einige zu nennen.

Das Thema Performance Forecasting hat dagegen erst in letzten Jahren an Bedeutung gewonnen, zusammen mit dem Rechnerkonsolidierungsansatz. Es ist in diesem Zusammenhang ungeheuer wichtig geworden, die Performanceprobleme nicht erst nach ihrem Auftreten zu beseitigen, sondern vorher zu „wissen“, welche Probleme, wann, wo, in welchem Ausmaß und mit welchen Folgen und Auswirkungen auftreten können, um die Ursachen noch vor einer Systemstörung zu eliminieren.

Die meisten existierenden Arbeiten in diesem Bereich (z.B. [7] und [1]) betrachten vor allem die physische Ebene und weniger die logische. Für die meisten Probleme liegen aber die Ursachen eher in der konzeptioneller bzw. logischer Ebene und eine Lösung auf dem physischen Niveau beseitigt oft das Problem nicht, sondern führt eher zu einem kurzfristigen Erfolg.

Unser Projekt „Intelligent Performance Analyser“ beschäftigt sich in erster Linie mit Performance Forecasting und proaktivem Tuning. Das Ziel des Projektes ist, eine möglichst vollständig automatische, lernfähige und benutzerfreundliche Anwendung zu entwickeln, die in einem breiten Spektrum von Unternehmen eingesetzt werden kann.

Wir beschäftigen uns mit der physischen, wie auch mit der konzeptionellen Ebene und treffen Forecasting - Aussagen in Bezug auf explizite Vorhersage - Modelle.

## 1 Einleitung

Schon immer wollten Menschen die Zukunft sehen und planen können. Während es ihnen im eigenen Lebensverlauf eher selten gelingt, gibt es inzwischen mehrere Bereiche, wie Klimaforschung, Geologie, Medizin, Wirtschaft und einige andere, die mittlerweile zuverlässige und detaillierte Prognosen liefern, die direkt oder indirekt alle Menschen betreffen. Zuverlässige und exakte Prognosen haben auch in der Informatik, speziell im Bereich der System - Performance vor allem in letzten Jahren an Bedeutung gewonnen.

Viele Unternehmen betreiben seit einiger Zeit starke Rechnerkonsolidierung. Durch die Konsolidierung der Rechner in einem großen Umfang wollen die Unternehmen einerseits einen umweltschonenden Betrieb ihrer Rechenzentren und andererseits beachtliche Kosteneinsparungen erreichen. So werden unterschiedlichste Anwendungen und Datenbanken öfters ohne eine Systematik zusammengelegt. Mit dem Konsolidierungsansatz haben die Unternehmen dann eine

unregelmäßig verteilte, zusammengelegte Landschaft, auf der im Fall einer Systemstörung die Ursachenfindung einen enormen Aufwand und hohe Kosten bedeutet. Mit der wachsenden Menge an Information, die verarbeitet werden muss, und mit der Erhöhung der Komplexität der Systeme und der Anforderungen ist dieser Prozess keinesfalls einfacher, sondern um vieles schwieriger geworden. Da meistens dazu noch Verpflichtungen gegenüber Dritten (z.B. Kunden, die Nutzer des Rechenzentrums sind) vorhanden sind, wird die Verfügbarkeit bzw. die Ausfallsicherheit der Systeme zum wichtigsten Punkt.

Deshalb ist es wichtig geworden, die Performanceprobleme nicht erst nach ihrem Auftreten zu lösen, sondern die Ursachen noch vorher zu erkennen und zu beseitigen. Dazu sind zuverlässige und möglichst exakte Performance - Prognosen notwendig.

In dieser Arbeit möchten wir Ideen und Methoden von Performance - Forecasting vorstellen, die wir in einem gemeinsamen Projekt mit einem großen Industrieunternehmen entwickeln und einsetzen.

## 2 Forschungsstand und themenbezogene Arbeiten

Die meisten Arbeiten im Bereich der System - Performance [8, 4, 2, 3], sei es Rechner - Performance (Hardware, Betriebssystem) oder Datenbank - Performance, beschäftigen sich hauptsächlich mit reaktivem Performance Tuning und bieten Lösungen zu Problemen erst nach ihrem Eintreten. Unser Ansatz ist, mögliche zukünftige Probleme noch vor ihrem Eintreten zu erkennen und mit proaktivem Tuning zu verhindern.

Die wenigen existierenden Arbeiten in Bereich Performance Forecasting sind entweder oberflächlich und betreffen nur vereinfachte Szenarios mit dem Schwerpunkt auf der physischen Ebene [7, 1] oder beschäftigen sich mit einzelnen Systemkomponenten oder einzelnen Prognose - Methoden [9, 5, 10]. Wir versuchen sowohl komponentenweise als auch systemübergreifend Prognosen zu erstellen, wobei wir uns nicht nur auf die physische Ebene konzentrieren, sondern viel mehr auf die logische bzw. konzeptionelle Ebene ausrichten.

## 3 Methoden und Konzepte

Das primäre Ziel bei Performance Forecasting ist, mögliche zukünftige Probleme rechtzeitig zu erkennen, Risikofaktoren zu identifizieren und die Ursachen mit proaktivem Tuning zu beseitigen. Um dies zu bewerkstelligen, ist es wichtig, das System permanent zu überwachen und ausreichend und gezielt Statistiken zu sammeln und auszuwerten.

Ein System kann vereinfacht als eine „black box“- Struktur mit Eingängen, Ausgängen und einer Menge von Einwirkfaktoren dargestellt werden. Wir verstehen unter dem Systembegriff einen Gesamtkomplex, zusammengesetzt aus einzelnen Bestandteilen, laufenden und geplanten Prozessen und Steuerungsfunktionen. Jedes System besteht aus miteinander zusammenhängenden und aufeinander wirkenden Komponenten, besitzt Schnittstellen zu seiner Umgebung und stellt in seiner Gesamtheit eine abgeschlossene Funktionseinheit dar. Da die Komponenten eines Systems somit eine komplexe Struktur bilden, in die umfangreiche Beziehungen zwischen den Elementen und demzufolge viele Abhängigkeiten integriert sind, beein-

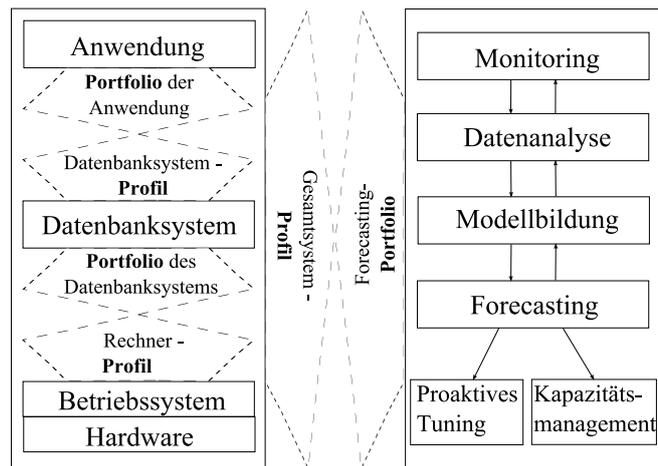


Abbildung 1: Systemanalyse - Modell

flussen die Veränderungen des Verhaltens von einigen Komponenten und Prozessen die anderen. Somit, um eine Systematik und Konsistenz in die Systembeschreibung einzubringen und die Wechselwirkungen zwischen den Komponenten beschreiben zu können, unterteilen wir das Gesamtsystem in einzelne (vorhandene) Subsysteme, wie sie in der Abbildung 1 (links) dargestellt sind. Auf dieser Abbildung sind vier Subsysteme zu sehen: Hardware, Betriebssystem, Datenbanksystem und Anwendung. Die Wechselwirkungen und Beeinflussungen der Subsysteme aufeinander werden hier durch das *Profil - Portfolio - Konzept* ausgedrückt.

*Profil* bedeutet in diesem Fall die Leistungsfähigkeit oder das Potential des Systems bzw. Subsystems und umfasst Ausstattung, Merkmale, Performance - Charakteristiken etc. *Portfolio* beschreibt dagegen die Belastung, die durch das entsprechende Subsystem auf das darunterliegende erzeugt wird, und umfasst Aufgaben, Rechte, Beschränkungen etc.

Somit besitzt jedes Subsystem ein entsprechendes *Profil* und *Portfolio*. Wir haben die beiden Komponenten Hardware und Betriebssystem zu einem Subsystem zusammengefasst, da es bei unserem Ansatz nur in seltensten Fällen sinnvoll ist, sie zu trennen. Denn, wenn wir von großen Systemen sprechen, für die dieser Ansatz in erster Linie entwickelt wurde, liegt meistens die Situation vor, dass die Hardware mit einem auf sie abgestimmten Betriebssystem ausgeliefert wird, so dass ein Betriebssystem-Wechsel von Anfang an nicht vorgesehen ist.

Für alle Subsysteme ist die Abstimmung von Profil und Portfolio essenziell. Sobald das Profil von einem Subsystem und das Portfolio von einem anderen erstellt wurden, kann überprüft werden, ob die vorliegende Ausstattung und die vorgenommenen Konfigurationen für die zu leistende Arbeit und Belastung optimal bzw. akzeptabel sind. Anhand der Profil - Portfolio - Untersuchung können ebenfalls Analysen zur Identifizierung von Risikofaktoren in der zukünftigen Entwicklung des Systems durchgeführt und Forecasting - Aussagen gemacht werden. Außerdem bietet dieses Konzept die Möglichkeit, für Kapazitätsmanagement eine nahezu optimale Nutzung von Hardware - Ressourcen zu berechnen und hilft bei der Rechnerkonsolidierung die richtige Entscheidung zu treffen.

Das *Profil - Portfolio - Konzept* beschreibt auch den Zusammenhang zwischen den beiden Teilen (links und rechts) in der Abbildung 1. Auf der einen Seite befindet sich das Profil für das Gesamtsystem, auf der anderen Seite das Forecasting - Portfolio mit den Aufgaben, die bezüglich des Systems verrichtet werden. Im rechten Teil der Abbildung 1 sind die einzelnen Aufgaben zur Systemanalyse aufgelistet. Der gesamte Vorgang wird in folgende Schritte unterteilt:

- **Monitoring:** Das System - Monitoring dient einer zentralen Überwachung der System - Performance. Durch das Monitoring kann der Ursprung der auftretenden Probleme schnell und relativ einfach identifiziert werden. Eine Voraussetzung für zuverlässiges Monitoring ist Sammlung und Aufbereitung von Statistiken für das gesamte System und für einzelne Subsysteme. Es ist wichtig, alle Systemkomponenten zu berücksichtigen, da die Ressourcen der Komponenten durch Abhängigkeiten und Wechselwirkungen eng miteinander verbunden sind. Die Statistikdaten werden zuerst als Rohdaten in ihrem ursprünglichen Format gesammelt, ohne Unterteilung in mehr oder weniger wichtige. Als Nächstes ist es notwendig, die Qualität der Daten zu kontrollieren, um Ausreißer, fehlerhafte Daten oder Duplikate zu markieren bzw. zu entfernen. Erst danach werden die Statistikdaten aufbereitet. Sie werden in ein einheitliches Format gebracht und zentral in einem Repository für weitere Verarbeitung zur Verfügung gestellt.
- **Datenanalyse:** Als Nächstes wird der charakteristische Workload des Systems bzw. der Subsysteme bestimmt. Die aufbereiteten Daten werden analysiert und bezüglich bestimmter Anforderungen überprüft, um alle Veränderungen im System und eventuelle Verletzungen vorgegebener Bedingungen zu erfassen. Eine weitere Aufgabe der Datenanalyse ist die zielgerichtete Daten - Vorbereitung für unterschiedliche Methoden der Modellbildung und Prognostizierung.
- **Modellbildung:** Die Forecasting - Modelle dienen im Allgemeinen einer Veranschauli-

chung bzw. Vereinfachung der Realität, um eine bessere Handhabung und Analyse eines vorliegenden komplexen Systems zu ermöglichen. Da jede Form der Modellierung ihre Vorteile und Nachteile besitzt, ist es nicht ausreichend, nur eine Modellierungsmethode zu betrachten. Um ein möglichst vollständiges Modell für ein vorliegendes System zu erhalten, müssen die einzelnen Strukturen und die Funktionalität des Systems beschrieben werden. Die Strukturmodellierung (oder statische Modellierung) umfasst die Basisvariablen der Prozesse und Komponenten in bestimmten Zuständen, wobei die zeitlichen Veränderungen der Parameter nicht berücksichtigt werden. Die Modellierung der Funktionalität (oder dynamische Modellierung) betrifft dagegen die Zustandsübergänge, um die dynamischen Charakteristiken und zeitliche Veränderungen der Variablen zu erfassen. Die beschriebenen Charakteristiken können theoretisch, experimentell oder mittels einer Kombination untersucht werden.

Bei diesem Ansatz betrachten wir zwei Arten der Modellierung: Benchmark-Modelle aus dem Gebiet der *physischen Modellierung* und einige ausgewählte Methoden der *mathematischen Modellierung*.

- *Physische Modellierung.* Im Allgemeinen werden bei der physischen Modellierung Eigenschaften eines Systems aus den Experimenten ermittelt. Benchmarks kann man beschreiben als Systematisierung von Vorgehensweisen und Lösungen für ausgewählte Problembereiche mit Hilfe von Simulationen und Messungen auf einem Testsystem, das dem Produktionssystem möglichst ähnlich ist. Dabei ist es keinesfalls notwendig, dass die Systeme identisch sind. Es ist ausreichend, Simulationen auf einem kleineren Testsystem durchzuführen und Ergebnisse auf das große Produktionssystem zu skalieren. Wobei die physischen Modelle viel aufwendiger im Vergleich zu mathematischen Modellen sind, sind sie genauer und zuverlässiger für Prognosen, da sie die Komplexität der realen Systeme am besten widerspiegeln.
- *Mathematische Modellierung.* Ein mathematisches Modell ist eine vereinfachte strukturierte Beschreibung eines realen Systems. Es ist wichtig, für die vorliegende Problematik ein geeignetes Modell zu bestimmen, das die Eigenschaften des Systems möglichst vollständig und korrekt widerspiegelt. Für mathematische Modellierung sind am meisten die Methoden der Regression, Queuing-Theorie, Neuronale Netze und verallgemeinerte lineare Modelle geeignet.

Eine wichtige Voraussetzung für die Modellierung ist die Beständigkeit des Systems. Falls das vorliegende System verändert wird (durch ein Update, eine neue Softwareversion oder eine weitere Hardwarekomponente), kann nicht mehr die Korrektheit der aufgestellten Modelle garantiert werden.

- **Forecasting:** Alle Prognosen sind immer mit bestimmten Fragestellungen verbunden. Im Bereich der System - Performance sind die häufigsten Fragestellungen die folgenden:
  - Wie sehen die Performance - Charakteristiken für das System oder ausgewählte System - Komponenten in der Zukunft aus?
  - Wie verändern sich einzelne Charakteristiken bei einer Vergrößerung/Verkleinerung von einem (oder auch mehreren) Parameter?

In Abhängigkeit von der Fragestellung wird ein geeignetes Modell ausgewählt und anhand des Modells werden Aussagen getroffen und Empfehlungen ausgesprochen. Bezüglich des Kapazitätsmanagements müssen die betrachteten Systeme noch auf *Verträglichkeit* untersucht werden. Der Verträglichkeitstest besteht aus zwei ineinander übergreifenden Teilen: physische Verträglichkeit und logische Verträglichkeit.

- Die *physische Verträglichkeit* bedeutet die Kompatibilität der Systemleistungen und umfasst z.B. Hardware- und Netzwerkressourcen sowie die Datenbankeinstellungen.
- Die *logische Verträglichkeit* bedeutet die Kompatibilität der Spezifikationen und umfasst z.B. die Lastprofile der Anwendungen sowie die Datenbankspezifikationen.

Neben der Verträglichkeit der Systeme spielt die *Belastbarkeit* für die dynamische Zuordnung der Systemressourcen eine große Rolle. Ein wichtiger Parameter dabei ist die *maximale Belastbarkeit*. Ähnlich zu Verträglichkeit lässt sich die Belastbarkeit in physische und logische aufteilen. Während die physische Belastbarkeit gemessen werden kann, ist die logische Belastbarkeit abhängig von der Anwendung und bestimmten Spezifikationen.

- **Nutzung:** nachdem die Prognosen erstellt und mögliche Risikofaktoren identifiziert wurden, können anhand von Aussagen und Empfehlungen mit proaktivem Tuning die Ursachen möglicher Probleme eliminiert werden. Die Methoden dabei sind die gleichen, wie bei dem reaktiven Tuning. Abhängig von den vorliegenden Systemen existieren in entsprechenden Bereichen mittlerweile viele Arbeiten zu diesem Thema.

## 4 Ausblick

In dieser Arbeit wurden Methoden und Konzepte für Performance Forecasting vorgestellt. Während mittlerweile einzelne Schritte teilweise automatisiert wurden, fehlt noch die vollständige Automatisierung für den Gesamtvorgang. Nicht zu unterschätzen ist auch die Tatsache, dass beim Forecasting immer ein Kompromiss geschlossen werden muss zwischen der Genauigkeit der Prognosen und der zusätzlichen Belastung des Systems durch die Sammlung von Statistiken. Die Systeme sind oft so ausgelastet, dass jede zusätzliche Belastung für sie kritisch sein kann. Außerdem können dadurch auch die Statistiken selbst verfälscht werden. Ein wichtiger Punkt dabei ist eine gezielte (problemorientierte) Sammlung von Statistiken. Dadurch können Ergebnisse schneller berechnet und Ressourcen gespart werden.

## Literatur

- [1] Lutz Fröhlich. *Oracle 11g Performance Forecast*. Hanser, 2008.
- [2] Raj Jain. *The Art of Computer Systems Performance Analysis*. John Wiley & Sons, 1991.
- [3] Horst Langendörfer. *Leistungsanalyse von Rechensystemen*. Carl Hanser Verlag, 1992.
- [4] Sitansu S. Mitra. *Database Performance Tuning and Optimization*. Springer, 2003.
- [5] Edwin Pednault. Transform regression and the kolmogorov superposition theorem. *Proceedings of the Sixth SIAM International Conference on Data Mining*, pages 35–46, 2006.
- [6] Erhard Rahm and Theo Härder. *Datenbanksysteme. Konzepte und Techniken der Implementierung*. Springer, 2001.
- [7] Craig Shallahamer. *Forecasting Oracle Performance*. Apress, 2007.
- [8] Dennis Shasha and Philippe Bonnet. *Database Tuning: Principles, Experiments, and Troubleshooting Techniques*. Morgan Kaufmann, 2002.
- [9] Christopher Stewart, Terence Kelly, and Alex Zhang. Exploiting nonstationarity for performance prediction. *SIGOPS Oper. Syst. Rev.*, 41(3):31–44, 2007.
- [10] Rich Wolski. Dynamically forecasting network performance using the network weather service. *UCSD Technical Report TR-CS96-494*, 1998.