

Diss. ETH No. 14393

Processor Management for Adaptive Applications

A dissertation submitted to the
Swiss Federal Institute of Technology Zurich
(ETH Zürich)

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
Hans Domjan
Dipl. Informatik-Ing. ETH
born October 19, 1969
citizen of Emmen (LU), Switzerland

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Thomas R. Gross, examiner
Prof. Dr. Burkhard Stiller, co-examiner

2001

Abstract

Despite the ever increasing speed of hardware, today's multimedia-rich applications on a user's workstation and distributed computing in the Internet (Web-Servers providing dynamic content like online time tables) manage to consume the entire resources of networks or end systems. While it is economically infeasible to size resources for peak usage, end users nevertheless expect a predictable service from the applications, i.e., the result should be produced within a certain time limit. A solution to this problem is to design applications so that they adapt to available resources: in a resource contention situation, they lower the quality of their result and thus consume fewer resources, but produce the result on time. If there are ample resources, they are able to produce full-quality results, and still meet the time limit.

This dissertation investigates end system support to provide predictable service that matches the needs of adaptive applications with regard to the resource CPU (Central Processing Unit). It presents the *RV-Scheduling System*, which provides resource reservations on top of a best-effort operating system, thus combining the flexibility and versatility of such OSes with resource guarantees as found in real-time systems.

Based on three example adaptive applications, we introduce a model of adaptive applications and derive their requirements with regard to end system CPU management. Subsequently we introduce the design (including the application programming interface API) and implementation of the proposed RV-Scheduling System, which fulfills these requirements. Two key ideas of the implementation consist of an *objective function for cumulative resource consumption* combined with a *reactive scheduling mechanism*. A thorough evaluation of the scheduler shows that the RV-Scheduling System provides—despite its integration into a best-effort operating system—resource reservations in a quality and with a predictability which is useful for adaptive applications, yet has negligible additional overhead. Applications using the RV-Scheduling System experience a considerable increase in user-specific quality metrics compared to best-effort scheduling. Furthermore, the RV-Scheduling System enables the operating system to make more efficient use of the resource CPU, and allows applications to gracefully and dynamically decrease their service quality without a-priori knowledge of the available resources. Thus the RV-Scheduling System is considered a valuable addition to today's best-effort operating systems.

Kurzfassung

Trotz der ständig steigenden Geschwindigkeit der Hardware sind heutige multimedia-reiche Anwendungen auf dem Arbeitsplatzrechner eines Benutzers und das verteilte Rechnen im Internet (beispielsweise Web-Server, die zur Laufzeit erzeugten Inhalt wie Online-Fahrpläne bereitstellen) in der Lage, die gesamten Ressourcen der Netzwerke oder der Endsysteme zu verbrauchen. Während es ökonomisch unrealistisch ist, die Ressourcen basierend auf der Höchstauslastung auszulegen, erwarten Endbenutzer dennoch eine vorhersagbare Service-Qualität seitens der Anwendungen, d.h. das Resultat einer Berechnung sollte bis zu einer bestimmten Zeitlimite verfügbar sein. Eine Lösung dieses Problems ist der Entwurf von adaptiven Anwendungen, das heisst Anwendungen, die sich im Verhalten an die vorhandenen Ressourcen anpassen können: Bei eingeschränkter Ressourcenverfügbarkeit senken sie die Qualität ihres Resultats und verbrauchen folglich weniger Ressourcen, sind aber andererseits in der Lage, das Resultat bis zur Zeitlimite bereitzustellen. Stehen dann wieder genügend Ressourcen zur Verfügung, können sie die Resultate in voller Qualität produzieren und die Zeitlimite trotzdem einhalten.

Diese Dissertation untersucht Möglichkeiten, wie Endsysteme die Ressource CPU (Prozessor) in einer den Ansprüchen von adaptiven Anwendungen genügenden Qualität zur Verfügung stellen können. Wir stellen das RV-Scheduling-System vor, das Ressourcenreservierungen in ein best-effort Betriebssystem integriert und so dessen Flexibilität mit den von Echtzeitbetriebssystemen her bekannten Ressourcenreservierungen kombiniert.

Basierend auf drei Beispielen von adaptiven Anwendungen stellen wir ein Modell der adaptiven Anwendungen vor und leiten daraus die Anforderungen an ein CPU-Ressourcenmanagementsystem ab. Anschliessend wird der Entwurf (API) und Implementierung des vorgeschlagenen RV-Scheduling-Systems vorgestellt, das die aufgeführten Anforderungen erfüllt. Zwei Hauptideen der Implementation bestehen aus einer Zielfunktion für den kumulativen Ressourcenverbrauch, der mit einem reaktiven Schedulingmechanismus kombiniert wird. Eine ausführliche Evaluation zeigt, dass das RV-Scheduling-System—trotz der Tatsache, dass es auf einem best-effort Betriebssystem aufbaut—Ressourcengarantien in einer Qualität und mit einer Zuverlässigkeit, welches für adaptive Anwendungen genügt, zur Verfügung zu stellen in der Lage ist, und dennoch nur unwesentliche zusätzliche Laufzeitkosten nach sich zieht. Ausserdem können die Anwendungen, die das RV-Scheduling-System verwenden, eine beträchtliche Zunahme der benutzer-spezifischen Qualitätsmetrik erreichen. Zusätzlich ermöglicht das RV-Scheduling-System eine bessere Ausnutzung der Ressource CPU, und es erlaubt adaptiven Anwendungen sich zur Laufzeit und ohne a-priori-Wissen den gerade zur Verfügung stehenden Ressourcen dynamisch anzupassen. Das RV-Scheduling-System stellt somit eine wertvolle Ergänzung zu den heutigen Betriebssystemen dar.