

spannung reduzieren. Damit bietet eine reduzierte Taktfrequenz die Möglichkeit zu einer quadratischen Energieeinsparungen, da die Energie quadratisch zur Betriebsspannung ist. Die Prozessverwaltung kann daher die Taktfrequenz für jeden Rechenauftrag bestimmen und so den Stromverbrauch kontrollieren. Der Stromverbrauch bestimmt einerseits die Betriebszeit eines Rechensystems als auch die Leistungsreserven des Systems für die nahe Zukunft, da der Rechner nur während kurzer Hochlastphasen mit voller Leistung gefahren werden kann. Die Kunst des Betriebssystems besteht also darin, mit minimaler Taktfrequenz eine bestimmte Dienstgüte aufrecht zu erhalten und zeitabhängige Dienste vor Ihrer Deadline auszuführen. Bislang wurde dieser Aspekt der "slow and cool execution" nicht in Betriebssystemen berücksichtigt.

Die Fortschritte in der Speichertechnologie in Bezug auf Geschwindigkeit konnten nicht mit denen in der Prozessortechnologie mithalten. Prozessoren, die mit mehreren hundert Megahertz getaktet sind, können wesentlich mehr Anforderungen an das Speichersubsystem stellen, als dieses erfüllen kann. Die **Speicherbandbreite** ist die Datenmenge, die vom/zum Speicher in einem Zeitintervall transferiert werden kann. Die Anzahl der erfüllbaren Speicheranforderungen pro Zeitintervall und damit die Speicherbandbreite ist begrenzt.

Ein Prozessor, der mehr Speicheranforderungen stellt, als erfüllt werden können, muß Wartezyklen einlegen, welche die Effizienz reduzieren. In einem Multiprozessorsystem wird die verfügbare Speicherbandbreite von allen Prozessoren und DMA Geräten geteilt. Folglich können sich die Prozessoren gegenseitig behindern und in ihrer Effizienz beeinflussen. Wir nennen diesen Effekt *Memory Preemption*.

Die Anzahl der Speicherzugriffe, die ein Prozessor pro Zeitintervall tätigen kann, wird durch die Taktfrequenz und die Speicher-Referenz-Muster bestimmt. Wenn wir die Kenngrößen des Hauptspeichers kennen und die individuellen Zugriffsmuster einzelner Tasks messen können, kann diese Information im Scheduler genutzt werden, um den Effekt der Memory Preemption vorherzusagen und zu kontrollieren. Die Kontrolle kann durch das Einfügen von Idle-Zyklen im Prozessor erfolgen, um den Speicherzugriff von Tasks mit geringer Priorität zu drosseln. Den gleichen Effekt bei gleichzeitiger Energieeinsparung hätte eine Reduzierung der Taktfrequenz.

Die zwei vorgestellten Beispiele zeigen eindrucksvoll, daß es Ressourcen wie Energie, Kühlung und Hauptspeicherbandbreite gibt, die bislang nicht von Betriebssystemen behandelt wurden. Im Vortrag werden Lösungsansätze vorgestellt und erste Ergebnisse und Messungen präsentiert.

[Bel97a] F. Bellosa. "Process Cruise Control: Throttling Memory Access in a Soft Real-time Environment". In *Sixteenth Symposium on Operating Systems Principles (Poster Session)*, Oct. 1997

[WWDS95] M. Weiser, B. Welch, A. Demers, and S. Shenker. "Scheduling for reduced cpu energy". In *Operating System Design and Implementation OSDI'94*

Die Erforschung der Langsamkeit

Vernachlässigte System-Ressourcen und ihre Beherrschung

Frank Bellosa

Universität Erlangen-Nürnberg
Institut für mathematische Maschinen und Datenverarbeitung IV
Lehrstuhl für Betriebssysteme

Die Umgebung, innerhalb der ein Computer sinnvolle Arbeit verrichten kann, ist durch die Hardware-ressourcen und die Software bestimmt, welche diese Ressourcen verwaltet. In den letzten 40 Jahren konzentrierte sich die Betriebssystemforschung auf die Verwaltung der Basis-Ressourcen Prozessor, Hauptspeicher und Ein/Ausgabe. Abstraktionen wie Aktivitätsträger, Adreßräume, Dateisysteme und virtuelle Kommunikationskanäle wurden geschaffen, um die Handhabung dieser Basis-Ressourcen zu vereinfachen und allgemeine Schnittstellen anzubieten.

Doch neue Anforderungen an Rechensysteme zwingen zur Einführung von neuen Hardwarekomponenten und zur Entwicklung von Verwaltungssoftware für Ressourcen, die bislang als “manage-würdig” eingestuft wurden. Exemplarisch soll an den beiden Ressourcen **Energie** und **Speicherbandbreite** aufgezeigt werden, daß Betriebssysteme noch lange nicht erforscht sind, sondern sich die Forschung auf diesem Gebiet immer wieder neuen Herausforderungen stellen muß.

Stromversorgung und Kühlung ist eine Voraussetzung für den Betrieb von Rechnern, die in der Vergangenheit als stets und konstant verfügbare Umgebungsbedingung unabhängig von der Art des Betriebs angenommen wurde. Diese Annahme ist nicht mehr zutreffend für tragbare Rechner mit beschränkter Stromversorgungs- und Kühlkapazität.

Die **Energie**, die integrierte Schaltungen für ihren Betrieb brauchen, ist proportional zur Anzahl der Gatter und der Taktfrequenz, mit der sie betrieben werden. Ein Hochleistungsprozessor benötigt zur Zeit zwischen 26W (UltraSPARC-II mit 250Mhz) und 60W (alpha 21264 mit 300 MHz). Angesichts des Trends zu steigenden Taktfrequenzen und steigender Chipkomplexität, tauchen zwei Fragen auf: Können zukünftige Systeme noch mit genügend Energie versorgt werden (z.B. in Notebooks und PDAs) und kann die Energie durch passive Kühlung noch abgeführt werden? Ist es möglich, die Energieaufnahme durch ausgeklügelte Prozeß- und Energie-Verwaltungstechniken zu drosseln?

Einige der heutigen Prozessorarchitekturen bieten die Möglichkeit der reduzierten Taktfrequenz, um Energie zu sparen. Die Reduzierung der Taktfrequenz bewirkt eine lineare Reduzierung der Energieaufnahme, aber auch eine entsprechende Reduktion der Rechenleistung. So bleibt ein einfaches Maß für die Rechenleistung pro Energieeinheit definiert in Millionen Instruktionen pro Joule (MIPJ) konstant. Bei einer Reduzierung der Taktfrequenz läßt sich aus technischen Gründen auch die Betriebs-

**Die Erforschung der Langsamkeit:
Vernachlässigte System-Ressourcen
und ihre Beherrschung**

Frank Bellosa

März 1998

TR-14-01-98

Technical Report

Institut für
Mathematische Maschinen
und Datenverarbeitung
der
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Lehrstuhl für Informatik IV
(Betriebssysteme)

