ETH zürich

ETH Library

Liquid cooling of microprocessors - energy efficiency optimisation with waste heat recovery and passive hotspot targeting

Doctoral Thesis

Author(s):
Shekhar Sharma, Chander

Publication date:
2014

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-010376362

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

DISS. ETH NO. 22184

LIQUID COOLING OF MICROPROCESSORS: ENERGY EFFICIENCY OPTIMISATION WITH WASTE HEAT RECOVERY AND PASSIVE HOTSPOT TARGETING

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr.sc. ETH Zurich)

presented by

CHANDER SHEKHAR SHARMA

Master of Engineering, Mechanical,
Indian Institute of Science, Bangalore

born on 02.08.1980

citizen of India

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Dimos Poulikakos, examiner
Dr. Bruno Michel, co-examiner
Prof. Dr. Manish K. Tiwari, co-examiner

2014

Abstract

The drive to continuously scale microprocessor performance, coupled with the lack of Dennard scaling for supply voltage, has presented two specific challenges to the further advancement of information technology (IT). First, the operating costs of large data centers that are the key providers of IT-related services, have been steadily rising due to increasing air-cooling overheads, and are reaching unsustainable levels. Second, the ever-increasing transistor densities in integrated circuits and development of multicore architectures are pushing both the chip power densities as well as chip thermal non-uniformities. Liquid cooling at the chip level holds the potential to address both these challenges.

This thesis focuses on water-cooling of microprocessors, with emphasis on efficient waste heat recovery from data centers and efficient cooling of highly non-uniform current and future chip power maps. The waste heat recuperation problem is investigated at the chip level through detailed thermo-hydrodynamic analysis of hot water cooled manifold microchannel (MMC) heat sinks. A systematic approach to optimize the operating conditions of such heat sinks, in order to achieve trade-off between exergetic efficiency of heat recovery and chip thermal reliability, is developed. On the cooling of non-uniform chip power maps, a novel hotspot-targeted and highly energy efficient cooling concept is presented. The concept involves adaptation of the microchannel heat transfer structure as well as flow distribution across the heat sink to the chip power map. A passive flow throttling approach for tuning the flow distribution is proposed that is insensitive to the configuration of the manifold used to supply the coolant. The proof of concept is demonstrated through experimental investigation of the embedded microchannel heat sinks based on this concept under realistic multicore microprocessor power maps. It is shown that this approach can significantly reduce chip temperature non-uniformity and a similar performance cannot be feasibly achieved by conventional microchannel heat sinks. General rules of design and a one-dimensional model based approach for quick design of hotspot-targeted microchannel heat sinks are also discussed.

Zusammenfassung

Das Bestreben zur andauernden Steigerung der Leistung von Mikroprozessoren in Verbindung mit dem Fehlen einer Dennard-Skalierung für die Versorgungsspannung wirft zwei spezifische Herausforderungen für die zukünftige Weiterentwicklung der Informationstechnologie (IT) auf. Erstens steigen die Betriebskosten von Datenzentren, welche die wichtigsten Anbieter von IT-Diensten sind, aufgrund des steigenden Mehraufwands für Luftkühlung stetig und erreichen ein unvertretbares Niveau. Zweitens erhöht die ständige Steigerung der Transistordichte in integrierten Schaltungen und die Entwicklung von Mehrkern-Architekturen die Leistungsdichte und die thermischen Inhomogenitäten am Chip. Flüssigkeitskühlung auf Chipebene birgt das Potenzial, diesen beiden Herausforderungen zu begegnen.

Diese Arbeit konzentriert sich auf die Wasserkühlung von Mikroprozessoren mit dem Schwerpunkt auf effiziente Abwärme-Rückgewinnung in Rechenzentren und effiziente Kühlung von stark ungleichmäßigen, derzeitigen und künftige Prozessor-Leistungsverteilungen. Das Problem der Rückgewinnung von Abwärme wird auf Chipebene mit Hilfe einer detaillierten thermo-hydrodynamischen Analyse von Heißwasser gekühlten Wärmesenken mit Mikrokanal-Verteilern (MMC) untersucht. Ein systematischer Ansatz für die Optimierung der Betriebsbedingungen derartiger Wärmesenken wird entwickelt, um einen Kompromiss zwischen exergetischer Effizienz der Wärmerückgewinnung und thermischer Zuverlässigkeit des Chips zu erreichen. Für die Kühlung inhomogener Prozessor-Leistungsverteilungen wird ein neues, höchst energieeffizientes und hotspot-orientiertes Kühlkonzept vorgestellt. Dieses Konzept beinhaltet die Anpassung der Mikrokanal-Wärmeübertragungsstruktur sowie der Strömungsverteilung im gesamten Kühlkörper an die Prozessor-Leistungsverteilungen. Zur Abstimmung der Strömungsverteilung wird ein Ansatz mittels passiver Strömungsdrosselung, welcher unempfindlich gegenüber der spezifischen Konfiguration des Verteilers für die Kühlmittelzufuhr ist, vorgestellt. Der Machbarkeitsnachweis wird durch experimentelle Untersuchung an eingebetteten, auf diesem Konzept basierenden

Mikrokanalwärmesenken an realistischen Mehrkernprozessor-Leistungsverteilungen erbracht. Es wird gezeigt, dass dieser Ansatz die Temperaturinhomogenität am Chip deutlich reduziert und ein vergleichbares Ergebnis mittels herkömmlicher Mikrokanalwärmesenken praktisch nicht erreichbar ist. Allgemeine Regeln für den Entwurf und ein eindimensionaler modellbasierter Ansatz für die schnelle Auslegung von hotspot-orientierten Mikrokanalwärmesenken werden ebenfalls diskutiert.