

Thesis for the degree of Doctor of Technology
Sundsvall 2006

Memory Modeling and Synthesis for Real-Time Video Processing Systems

Benny Thörnberg

Supervisors: Professor Mattias O’Nils
Docent Bengt Oelmann

Electronics Design Division, in the
Department of Information Technology and Media
Mid Sweden University, SE-851 70 Sundsvall, Sweden

ISSN 1652-893X
Mid Sweden University Doctoral Thesis 8

ISBN 91-85317-19-5

ELECTRONICS
Design Division



Mittuniversitetet
MID SWEDEN UNIVERSITY

Akademisk avhandling som med tillstånd av Mittuniversitetet i Sundsvall framläggs till offentlig granskning för avläggande av teknologie doktorsexamen i elektronik torsdagen den 18 maj 2006, klockan 13.15 i sal O102, Mittuniversitetet Sundsvall. Seminariet kommer att hållas på engelska.

Memory Modeling and Synthesis for Real-Time Video Processing Systems

Benny Thörnberg

© Benny Thörnberg, 2006

Electronics Design Division, in the
Department of Information Technology and Media
Mid Sweden University, SE-851 70 Sundsvall
Sweden

Telephone: +46 (0)60 148917

Printed by Kopieringen Mittuniversitetet, Sundsvall, Sweden, 2006

ABSTRACT

In this thesis, a new design methodology and new tools for modeling and synthesis of real-time video processing systems are presented. A real-time video processing system is a system that performs computations on a continuous sequence of images. Image processing is a memory intensive application. This, in turn, leads to the design challenge of bridging the classical gap of speed between memories and computational units. Several techniques exist for building memory hierarchies that exploit data- locality and reuse in order to overcome this memory gap. However, the support from tools to aid the designer in dataflow analysis and memory design is very modest.

Additional constructs for modeling electronic systems enable well-known sequential programming languages such as C/C++ to be used for system modeling. Ocap and SystemC, two object-oriented specification methods are compared in a case study. In this study, SystemC is found to be the most suitable specification method for video processing systems.

Most operations invoked in video processing are neighborhood oriented. For a video system designer, this spatio-temporal collection of pixels represents a natural abstraction. In addition, the same pixel neighborhood reflects data dependencies that are crucial to system synthesis. An extended SystemC modeling methodology, called IMEM is presented. IMEM can be used to capture memory transactions and stream interfaces based on the pixel neighborhood as an abstraction.

Two important steps towards synthesis of video systems onto Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) are presented. These two steps are parts of a decomposition of the complete synthesis task. Firstly, the optimal sizes and placements of all FIFO-buffers in the memory system are optimized. Bit-widths, pipelining and possible sharing of FIFO-buffers among several data flow dependencies are considered at this step. Secondly, the set of FIFO-buffers are allocated onto a set of dual-ported fine grained memories. Both synthesis steps are formally modeled using network flow techniques and linear programming.

In addition, a synthesis method that can automatically transform an IMEM model of a single spatial neighborhood into a multimedia processor implementation is presented. The cache and the instruction scheduler performance are both optimized by the tool.

IMEM is an application specific methodology that provides the non-hardware skilled video designer with an easy programming model and an FPGA synthesis tool. Memory usage is modeled separately from computation. This is a key feature since memory usage is accepted as being the biggest design bottleneck for video processing.

SAMMANDRAG

I denna avhandling presenteras en ny metod och nya verktyg för modellering och syntes av videobearbetande system i realtid. Ett videobearbetande system är ett system som utför beräkningar på en kontinuerlig ström av bilder. Bildbehandling är en minnesintensiv applikation. Detta i sin tur leder till en stor utmaning för konstruktören, nämligen att överbrygga en välkänd skillnad i hastighet mellan minnen och beräkningsenheter. Det finns ett flertal välkända tekniker att övervinna denna skillnad genom att utnyttja lokaliteten och återanvändningen av data. Stöd från befintliga verktyg som kan hjälpa konstruktören med dataflödesanalys och minneskonstruktion kan dock anses vara blygsam.

Genom att tillföra mekanismer för modellering av elektroniska system, så kan traditionella sekventiella programmeringsspråk, så som C/C++ användas för modellering av system. Ocapi och SystemC är två objektorienterade specifikationsmetoder som jämförts i en fallstudie. I denna studie framstår SystemC som bäst lämpad för specifikation av videobearbetande system.

De flesta bildbehandlingsoperationer arbetar på en lokal mängd av bildpunkter. För en bildbehandlingskonstruktör så framstår denna lokala mängd av bildpunkter som en abstraktion. Tillika representerar samma mängd bildpunkter de databeroenden som är avgörande vid syntes. I denna avhandling presenteras IMEM, en ny specifikationsmetod som kan användas till att modellera minnesanvändning och transaktioner genom att utnyttja en lokal mängd bildpunkter.

Två betydelsefulla steg mot att med automatik kunna översätta en modell i IMEM till en implementation i en Field Programmable Gate Array (FPGA) beskrivs. Dessa två problemformuleringar är delsteg i hela syntesprocessen. I första steget optimeras placering och storlek av alla buffertminnen. Hänsyn tas härvid till bitbredd, pipelining och eventuell delning av buffertar mellan flera databeroenden. I det andra steget allokeras buffertminnen till en mängd små dubbelportade minnen. Båda syntesstegen modelleras formellt med hjälp av nätverksflöden och linjär programmering.

Dessutom presenteras en syntesmetod som kan översätta en enkel IMEM-modell till en implementation i en mediaprocessor. Cache-minneshantering och schemaläggning av instruktioner optimeras av verktyget.

IMEM är en applikationsspecifik metod för videosystem som tillhandahåller en enkel programmeringsmodell och ett syntesverktyg för FPGA-kretsar. Minnesanvändning modelleras separat från beräkningar. Detta är en viktig egenskap, eftersom i huvudsak minnestransaktionerna kommer att begränsa systemets prestanda.