

# VU Research Portal

## Adaptive Resource Allocation in High-Performance Distributed Multimedia Computing

Yang, R.

2011

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

Yang, R. (2011). *Adaptive Resource Allocation in High-Performance Distributed Multimedia Computing*.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

## Samenvatting

### **Adaptieve toewijzing van processoren in gedistribueerde computersystemen voor multimediale toepassingen**

Vandaag de dag bestaat digitale informatie in toenemende mate uit multimediale elementen, een combinatie van audiovisuele en linguïstische gegevens. Het maatschappelijke belang van dit soort informatie is de laatste jaren sterk toegenomen door de opkomst van publiek toegankelijke televisie-archieven, videobeelden van bewakingscamera's in openbare ruimten en het automatisch vergelijken van forensisch bewijsmateriaal in biomedische identificatiesystemen (zoals iris-scans en vingerafdrukken). In de nabije toekomst zal geautomatiseerde toegang tot multimediale gegevens een probleem zijn van fenomenale omvang. Immers, digitale video kan data produceren op een zeer hoge snelheid en de opslag van multimediale gegevens loopt dan al gauw in de Petabytes ( $10^{15}$  bytes). Omdat de rekencapaciteit van een enkele computer bij lange na niet kan voldoen aan de eisen die veel multimediale applicaties stellen, is het nodig om de processor- en opslagcapaciteit van grootschalige gedistribueerde computersystemen aan te wenden.

Een probleem bij het analyseren van de multimediale gegevens is dat er vaak strikte tijdsbeperkingen gelden. Bijvoorbeeld, om lange wachttijden van klanten te voorkomen bij de iris-scanners op een internationaal vliegveld zal het systeem de passagier moeten kunnen identificeren binnen enkele seconden. Een groot deel van de autonome toepassingen, zoals het automatisch herkennen en volgen van verdachte individuen in videobeelden van bewakingscamera's, moet zelfs in real-time plaatsvinden. Daarom is het in steeds meer industriële toepassingen noodzakelijk uit een kolossale hoeveelheid van dergelijke gegevens automatisch binnen een beperkte tijd de juiste informatie te extraheren die voor mensen van betekenis is. Om dat te realiseren is de processing-capaciteit voor het analyseren van multimediale data van essentieel belang.

In ons onderzoek beperken we ons tot de beeldbewerking van de multimediale elementen. In dit soort service-gebaseerde scenario's sluit een klantapplicatie zich aan bij een of meerdere multimediale servers op afstand. Elke server voert de opdracht uit bij een (mogelijk verschillend) computercluster. Tijdens de uitvoering stuurt de applicatie van een klant videobeelden naar de beschikbare servers om te analyseren, waarbij een job kan worden uitgevoerd op meerdere parallele servers.

Een van de fundamentele uitdagingen bij de parallele berekening in gedistribueerde computersystemen is het bereiken van een hoge efficiëntie in het bewerken van de data, ongeacht de variabiliteit in de beschikbare hardware- en software-resources. Er zijn een aantal oorzaken voor de variabiliteit in gedistribueerde computersystemen. Ten eerste, de computerkracht in gedistribueerde computersystemen wordt gedeeld door diverse applicaties. Dat maakt de beschikbare capaciteit vaak schaars en onderhevig aan veranderingen van tijd tot tijd. Ten tweede, de hoeveelheid data van de multimediale applicaties die geanalyseerd moet worden verschillen ook van elkaar. Bijvoorbeeld een applicatie waarin objecten die in een videostroom verkregen zijn door bewakingscamera's moeten worden herkend bevat een gigantische hoeveelheid data om te analyseren. Echter, bij de iris-scan applicatie is het aankomstproces van de data die geanalyseerd moet worden veel minder voorspelbaar. Deze variabiliteit verhoogt de behoefte aan stochastische methoden die de multimediale applicaties minder gevoelig maken voor de fluctuaties van beschikbare resources in gedistribueerde computersystemen. Naast de tijdsbeperkende eis die de applicaties hebben, is het ook van belang om de gemiddelde gebruikskosten zo klein mogelijk te houden vanwege het feit dat de rekencapaciteit van gedistribueerde computersystemen vaak schaars en kostbaar is. Daarom moeten de stochastische methoden zorgen voor optimale balans tussen de beschikbare rekencapaciteit en de gebruikskosten, en tegelijkertijd voldoen aan strikte tijdsbeperkingen. In dit proefschrift staan het ontwikkelen, analyseren en optimaliseren van dit soort methoden centraal.

Na een uitgebreide introductie in hoofdstuk 1 en een formele beschrijving van de methoden in hoofdstuk 2 bestuderen we in hoofdstuk 3 de optimale inzet van beschikbare resources voor multimediale applicaties waarbij de beeldbewerking sequentieel wordt uitgevoerd. Om dit probleem op te lossen is het eerst van belang om het optimale aantal processoren gebruikt bij elke multimediale server te bepalen door de juiste afweging te maken tussen de rekentijd *van* en de communicatietijd *tussen* de processoren. Dit pro-

bleem noemen we het “resource utilisatie” (RU) probleem. Vervolgens is het van belang om het beste tijdsmoment te bepalen voor het versturen van nieuwe data naar de servers, zodanig dat het gebruik van de processoren wordt gemaximaliseerd en tegelijkertijd de (kostbare) tijd dat de data in de buffer staat te wachten wordt geminimaliseerd. Dit wordt ook wel het “just-in-time” (JIT) communicatie probleem genoemd. Voor het RU probleem ontwikkelen we een simpele en eenvoudig implementeerbare methode om het optimale aantal processoren te gebruiken bij een multimediale server te bepalen. Deze methode is gebaseerd op de klassieke binary-search methode voor niet-lineaire optimalisering en het is onafhankelijk van de specificaties van een systeem. Bij het JIT-probleem ontwikkelen we een slimme adaptieve controlemethode die snel en adequaat kan reageren op veranderingen in gedistribueerde computersystemen.

In hoofdstuk 4 bestuderen we allocatieproblemen in systemen met tijdsreservering. In deze systemen komen klanten aan bij een service-faciliteit volgens een Poisson-proces en ontvangen service in twee stappen. In de eerste stap wordt de klantinformatie verzameld, die vervolgens wordt verzonden naar de servers voor het analyseren. In de tweede stap wordt de informatie verwerkt, waarna de klant het systeem verlaat. Hier moeten twee beslissingen worden genomen: Ten eerste, *wanneer* moeten de processoren worden gereserveerd, zodanig dat (1) de klant niet hoeft te wachten voor de start van de service van de tweede stap, en (2) de gereserveerde processoren niet wordt verspild als gevolg van het wachten op de informatie bij de eerste stap. Ten tweede, *hoeveel* processoren moeten er worden toegewezen voor de tweede processtap zodat de gemiddelde utilisatie- en de holdingkosten per tijdseenheid zijn geminimaliseerd onder de gegeven tijdsbeperking. Aangezien de exacte analyse van het systeem moeilijk is, splitsen we het probleem op in twee delen die sequentieel worden opgelost en leiden tot bijna-optimale oplossingen. In het eerste deel tonen we aan dat het optimale reserveringsmoment wordt bepaald door het verschil van de gemiddelde servicetijd van de eerste stap en de gemiddelde reserveringstijd. Daarna passen we dynamisch programmeren toe om de beste allocatie-strategie op de tweede stap van het systeem te bepalen, en tegelijkertijd tonen we aan dat de optimale allocatie-strategie een stapfunctie is en met als extreem geval een bang-bang controle policy (dat wil zeggen: alle of geen van de processoren toewijzen).

In hoofdstuk 5 leggen we het accent op de tweede stap van het systeem beschreven in hoofdstuk 4. We breiden het model uit tot systemen met meerdere wachtrijen waarin elke service-faciliteit een eigen tijdsbeperking heeft

van de gemiddelde verblijfsduur van een job in het systeem. De beslissing moet worden gemaakt voor het dynamisch toewijzen van processoren over de verschillende faciliteiten, zodanig dat aan alle tijdsbeperkingen wordt voldaan tegen de minimale kosten. Structurele eigenschappen van de optimale strategie, die moeilijk te bewijzen zijn voor multi-dimensionale systemen, worden bewezen in dit hoofdstuk. Deze eigenschappen samen met die in hoofdstuk 6 geven volledige karakterisering van de optimale strategie voor dit type systeem.

Het model in hoofdstuk 6 is een speciaal geval van het model beschreven in hoofdstuk 5, waarin sprake is van slechts één enkele wachtrij. We laten zien met gebruik van dynamisch programmeren dat de optimale allocatiestrategie (1) work-conserving is, en (2) een stapfunctie volgt met als extreem geval de bang-bang controle strategie. Bovendien, (3) leiden we een conditie af waaronder de bang-bang controle strategie optimaal is. Deze karakterisering van de optimale strategie zijn niet rechtstreeks van toepassing in de multi-wachtrij systemen vanwege het feit dat de technieken die hier worden gebruikt om de resultaten te tonen niet generaliseerbaar zijn naar meerdere wachtrijen.

In hoofdstuk 7 bestuderen we de optimale allocatiestrategie voor multi-wachtrij systemen met een tijdsvariërend Poisson-aankomstproces. We bestuderen twee gevallen. In het eerste geval zijn de tijdsafhankelijke parameters van tevoren bekend. In dit geval laten we zien hoe de optimale strategie numeriek kan worden bepaald. In het tweede geval bekijken we het optimale allocatie probleem *zonder* volledige kennis van de aankomstintensiteit van jobs. Daartoe gebruiken we zowel een voorspellingsmethode als een stochastische benaderingsmethode om de tijdsvariërende parameters op te sporen en vervolgens een strategie te bepalen die bijna-optimaal is.

Ten slotte wordt in hoofdstuk 8 de optimale allocatiemethode gevalideerd voor een eenvoudige applicatie in een experimentele testomgeving. De resultaten laten zien dat onze modellen inderdaad effectief, simpel en eenvoudig implementeerbaar zijn.