적극적 이중 경로 전략의 성능 분석

주 영 상[†] · 조 경 산[††]

요 약

파이프라인 프로세서를 위한 이중 경로 전략의 성능을 개선하기 위해, 본 논문에서는 통합 신뢰 메커니즘과 적극적 이중 경로 전략(EDPS)을 제안한다. 통합 신뢰 메커니즘은 동적 신뢰 메커니즘과 정적 신뢰 메커니즘을 결합한 것으로 기존의 신뢰 메커니즘보다 신뢰 예측 정확도를 높일 수 있고 제안하는 EDPS와 결합하여 사용한다. EDPS는 높은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어도 가능한 경우에는 두 경로를 모두 사용하여 조건 분기 명령어로 인해 발생하는 분기 지연의 총합을 줄일 수 있다. 6개 벤치마크 프로그램에 대한 추적 기반의 시뮬레이션을 통해, 제안된 통합 신뢰 메커니즘을 사용하는 EDPS가 기존의 선택적 이중 경로 실행에 비해 분기 지연의 총합을 22% 줄일 수 있다.

Performance Analysis of Eager Dual Path Strategy

Young-Sang Joo[†] · Kyung-San Cho[††]

ABSTRACT

To improve the performance of the dual path strategy for a pipelined processor, we propose a hybrid confidence mechanism and Eager Dual Path Strategy(EDPS). The proposed hybrid confidence mechanism can increase the accuracy of confidence prediction by integrating both static and dynamic confidence mechanisms. EDPS can reduce the sum of branch delay cycles by allowing branch instructions in the high confidence set to execute down both paths whenever possible. Through the trace-driven simulation of six benchmark programs, EDPS using the hybrid confidence mechanism can reduce the sum of branch delay cycles by 22% compared to Selective Dual Path Execution.

1. 서 론

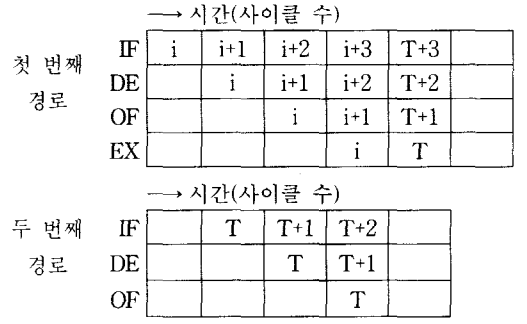
파이프라인 프로세서의 성능은 실행 흐름을 변경하는 실행 제어 명령어들에 의해 큰 영향을 받는다. 특히, 조건 코드 값에 의해 분기 방향이 결정되는 조건 분기 명령어가 파이프라인의 성능 저하에 가장 큰 원인이 된다[1].

파이프라인 프로세서에서 명령어가 명령어 페치(IF), 명령어 해석(DE), 오퍼랜드 페치(OF), 실행(EX)의 순서로 실행된다고 가정하면, 조건 분기 명령어는 실행 단계까지 분기될지 여부를 정할 수 없으므로 분기되는 경우에는 분기 지연(delay)이 발생한다. 만일 분기 방향을 예측하여 분기 목적 명령어를 미리 페치 할 수 있다면, 분기 지연을 줄일 수 있다. 이렇게 분기 방향을 미리 예측하는 방법을 분기 예측 전략이라 한다[2].

그러나 예측 전략을 사용하는 프로세서에서는 다음 문제들이 발생한다. 어떤 분기 예측 전략도 모든 분기 명령어를 정확히 예측할 수는 없고, 수퍼 스칼라 프로세서에서 페치된 명령어들이 실행 제어 명령어나 메모리 참조 명령어 등에 의해 실행 장치로 이슈(issue)되는 비율이 대부분의 경우 50% 미만이므로 예측이 정확한 경우도 실제로는 각 실행 장치들의 50% 이상이 idle 상태에 있게 된다[3].

† 준 회 원 : 단국대학교 대학원 전산통계학과
†† 종신회원 : 단국대학교 전산통계학과 교수
논문접수 : 1999년 8월 27일, 심사완료 : 1999년 12월 14일

따라서, 일부 연구에서는 (그림 1)같이 조건 분기 명령어에 대해 두 개의 파이프라인 실행 경로를 모두 유지하는 다중 경로 전략을 제안하였다. 첫 번째 파이프라인 경로는 예측된 경로의 명령어들을 페치하고 두 번째 경로는 예측되지 않은 경로의 명령어들을 페치한다[11]. 조건 분기 명령어의 실행 결과 올바른 경로의 명령어들은 계속 실행하고, 그렇지 않은 경로의 명령어들은 버려지므로 분기 지연이 발생하지 않는다.



(그림 1) 다중 경로 전략의 예약표

다중 경로 전략에서 분기 방향이 알려지기까지 각 경로에는 여러 개의 서로 다른 분기 명령어가 있을 수 있고, 이들에 대해 각각 2개의 경로를 유지하도록 구현하는 것은 불가능하다. 따라서, 단지 2개의 실행 경로만을 유지하는 이중 경로 전략이 제안되었다. 이중 경로 전략은 실행중인 조건 분기 명령어의 결과가 알려지기 전에 페치 되는 다른 조건 분기 명령어들에 대해서는 두개의 경로를 유지할 수 없으므로 분기 지연이 발생할 수 있다. 최근의 연구에서는 두 개의 경로를 사용하지 못하는 확률을 줄이기 위해, 조건 분기 명령어들을 분기 예측 신뢰도에 따라 높은 신뢰 집합(high confidence set)과 낮은 신뢰 집합(low confidence set)으로 나누는 신뢰 메커니즘을 통해 낮은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어들만 이중 경로를 사용하는 방법들을 제안하였다[4].

신뢰 메커니즘을 사용하는 기존의 이중 경로 전략에서는 높은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어들의 분기 예측이 실패하는 경우와 낮은 신뢰 집합에 속한 분기 명령어들이 연속해서 페치 되어 두 번째 경로를 사용하지 못하는 경우에 분기 지연이 발생할 수 있다. 대부분의 이중 경로 전략에서는 신뢰 메커니즘의 정확도를 높이는 것만을 목적으로 하고 있다. 이것은 두 번째 경로를 사용하지 못하는 경우에 발생하는 분기 지연을 줄이기 위한 것이다. 그러나 대략 80%의 분기 명령어들이 높은 신뢰 집합에 속하므로[4], 신뢰 메커니즘의 정확도를 높이는 것만으로는 충분한 성능 개선을 기대할 수 없다. 또한 신뢰 메커니즘은 높은 신뢰 집합의 정확도를 높이면서 동시에 이 집합의 명령어 비율을 높일 수 있어야 하지만, 기존의 신뢰 메커니즘으로는 이 문제를 해결하기 어렵다.

본 연구에서는 높은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어들에서 발생하는 분기 지연을 줄이기 위해, 높은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어들도 이중 경로 실행이 가능한 경우는 이중 경로를 사용하는 적극적 이중 경로 전략(Eager Dual Path Strategy : EDPS)을 제안한다. 또한, 선택적 이중 경로 실행(Selective dual path execution : SDPE)[4]과 제한적 이중 경로 실행(Limited dual path execution : LDPE)[5]에서 사용하는 신뢰 메커니즘을 결합하여 높은 신뢰 집합의 정확도와 이 집합의 명령어 비율을 동시에 높이는 통합 신뢰 메커니즘을 제안하고, 통합 신뢰 메커니즘을 사용한 EDPS가 조건 분기 명령어로 인해 발생하는 분기 지연의 총합(wasted cycle)을 줄일 수 있는 효율적인 구조임을 기존의 연구들과 성능을 비교 분석하여 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존의 이중 경로 전략들을 분석하고, 3장에서는 본 연구에서 제안하는 기법의 검증 및 분석에 사용된 벤치마크 프로그램들의 특성과 파이프라인 구조를 소개하고, 4장에서는 통합 신뢰 메커니즘을 적용한 적극적 이중 경로 전략을 제안하고 성능을 분석하며, 5장에서 결론을 내린다.

2. 관련 연구

다중 경로 전략의 연구 중에서, Disjoint Eager Execution(DEE)은 실행되지 않은 가능한 모든 경로들 중에서 가장 확률이 높은 경로를 선택하여 실행한다. 선택된 경로에서 새로운 분기 명령어들이 나옴에 따라 그 경로가 정확할 확률이 작아진다. DEE는 그때 분기 결과가 알려지지 않은 첫 번째 조건 분기 명령어로 돌아가서 예측되지 않았던 경로에서 다시 시작한다. 이때, 자원이 허락하는 한 최대한 많은 경로를 동시에 실행한다[6]. 또한, 프로그램 프로파일링을 통해 정적으로 경로의 수를 제한하는 branch fanout이라는 기법도

제안되었다[7].

이와 같이 동시에 여러 개의 경로를 유지하는 방법들이 연구되었지만 보다 보편적인 방법은 동시에 두 개의 경로만을 유지하는 이중 경로 전략들이다. 그 대표적인 연구는 James. E. Smith 등이 제안한 선택적 이중 경로 실행(SDPE)과 Matthew Farrens 등이 제안한 제한적 이중 경로 실행(LDPE)이다.

SDPE는 분기 예측의 신뢰도에 따라 분기 명령어의 예측이 잘못될 확률이 높은 경우에만 두 번째 경로를 유지하는 방법이다. 즉, 분기 명령어를 분기 신뢰 메커니즘에 의해 높은 신뢰 집합과 낮은 신뢰 집합으로 프로그램 실행 도중에 동적으로 나누고, 낮은 신뢰 집합에 속하는 조건 분기 명령어만 두 개의 경로를 유지한다[4].

SDPE에서 사용하는 동적 신뢰 메커니즘은 재설정(resetting) 카운터들로 구성된 신뢰 기록표(confidence history table)를 사용하며, 인덱싱 방법은 gshare와 동일하다. 운영 방법은 예측이 올바른 경우 카운터 값을 증가시키고, 틀리면 0으로 재설정한다. 카운터 값이 최대 값인 경우만 높은 신뢰 집합으로 분류하고 나머지는 낮은 신뢰 집합으로 분류한다. SDPE는 모든 분기 명령어들을 동적 신뢰 메커니즘을 통해 두 개의 신뢰 집합으로 나눈다.

그러나 강 편향 분기 명령어는 특정 신뢰 메커니즘 없이 미리 높은 신뢰 집합으로 분류될 수 있다[5]. LDPE는 이런 특성을 활용한 정적 신뢰 메커니즘을 사용한다. 분기 예측 정확도가 높은 분기 패턴들을 경험적으로 분류하여 이 패턴들을 예측 집합에 미리 저장한다. 분기 기록 레지스터(BHR)에 저장된 분기 패턴이 예측 집합에 속하면 예측 정확도가 높을 것으로 간주하여 단일 경로만 유지하고, 속하지 않으면 이중 경로를 유지한다[5].

SDPE는 분기 명령어들을 두 개의 집합으로 나누기 위해 별도의 신뢰 기록표를 유지하므로 추가적인 비용이 필요한데 반해, LDPE는 단지 몇 개의 패턴만을 예측 집합에 포함시키면 되므로 두 개의 집합으로 나누는 추가 비용이 크지 않다는 장점이 있다. 그러나 LDPE의 실행을 효과적으로 수행하기 위해서는 PAg 같은 지역 예측 방법을 사용해야 한다. 지역 예측 방법은 고비용의 예측 구조이고, 통합 분기 예측 전략으로 확장되기 어렵다.

SDPE와 LDPE 같은 이중 경로 전략에서는 낮은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어가 이중 경로를 사용할 확률을 높이는 것을 목적으로 한다. 그러나 높은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어들은 예측이 실패하면 이중 경로 전략을 사용하지 않은 경우와 동일한 분기 지연이 발생한다. 따라서, 본 연구에서는 높은 신뢰 집합에서 발생하는 분기 지연을 줄이는 새로운 이중 경로 전략을 제안한다.

3. 작업 부하 및 파이프라인 구조

본 장에서는 본 논문에서 제안될 구조들을 추적 기반의(trace-driven) 시뮬레이션을 통해 성능 분석하기 위해 필요한 작업부하의 특성과 시뮬레이션에 사용될 기본적인 파이프라인의 구조와 운영 방법을 기술한다.

시뮬레이션에 사용된 입력 자료는 SUN사에서 제공하는 shade를 사용하여 추적하였다. shade는 SPARC v8과 SPARC v9에서 수행되는 분기 명령어에 관한 정보를 추적하고 시뮬레이션 할 수 있는 C library를 제공한다[8, 9]. 본 연구에서는 shade의 여러 함수들을 사용하여 분기 명령어 주소, 분기 목적 주소, 분기 방향 등을 추출하도록 추적 프로그램을 작성하였다. 작업부하는 shade를 활용한 추적 프로그램과 벤치마크 프로그램들을 다음의 실행 환경을 통해 각 응용 프로그램에 대해 수행 조건 분기 명령어 중에서 1000 만개씩을 수집하였다.

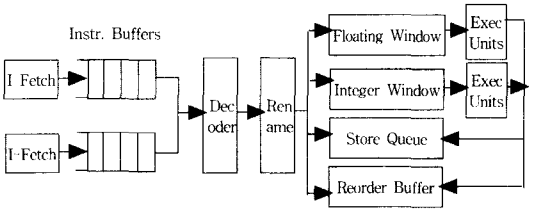
커널 구조: Sun4m
응용 구조: Sparc
커널 버전: SunOS 5.5.1

작업부하의 생성을 위해 사용된 벤치마크 프로그램은 espresso, gs, make, p2c, ls, compress를 사용하였다. 각 벤치마크의 수행 특성은 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 벤치마크 프로그램

벤치마크 프로그램	작업 정도	명령어 수	조건 분기 명령어 비율
espresso	mlp4	85,539,946	15.3%
gs	large	231,865,158	14.0%
make	perl	79,996,383	16.4%
p2c	mf	406,976,984	20.0%
ls	ls-lr	80,865,200	17.76%
compress	compress	583,945,522	15.23%

본 연구에서 제안하는 새로운 이중 경로 전략을 수행하기 위한 기본적인 파이프라인 구조는 (그림 2)와 같다.



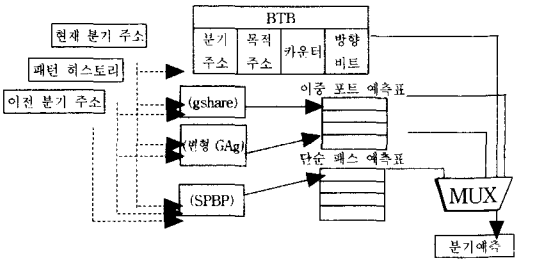
(그림 2) 수퍼스칼라 파이프라인 프로세서

이 구조는 MIPS R10000 같은 기존의 수퍼 스칼라 마이크로 프로세서구조와 유사하다. 매 사이클마다 두 개의 경로로부터 32개의 명령어들을 페치할 수 있으며, 다음 사이클에 이중에서 8개의 명령어들이 해석된다. Rename된 명령어들은 각 instruction window로 보내지고, 이중에서 4개의 명령어들만이 실행 장치로 이슈된다. 분기 명령어 실행까지는 5 사이클이 걸리므로 분기 예측이 실패하면 4 사이클의 분기 지연이 발생하는 것으로 가정한다.

4. 통합 신뢰 메커니즘을 사용한 적극적 이중 경로 전략

본 논문에서 사용될 분기 예측 구조인 (그림 3)은 분기 명령어의 과거 분기 수행 기록인 패턴(pattern)을 사용하여 예측하는 패턴 예측 전략과 현재 분기 명령어에 이르는 경로(path)를 사용하여 예측하는 패스 예측 전략을 결합한 패턴/패스 통합 분기 예측기(pattern/path hybrid branch predictor) 구조이다. 이 구조는 강편향 분기 명령어들의 분기 방향을 예측하기 위한 카운터와 방향 비트를 BTB(Branch Target Buffer)에 포함하고 [10], 이중 포트를 갖는 패턴 예측표와 단일 포트인 패스 예측표로 구성된다.

gshare와 변형 GAg는 하나의 기록 레지스터(history register)와 예측표를 모든 분기 명령어들이 공유하는 전역 예측 방법들이다. gshare는 해시 함수로 패턴 히스토리와 분기 명령어의 하위 주소를 XOR하는 방법을 사용하고[12], 변형 GAg는 연결(concatenate)하는 방법을 사용한다[13]. SPBP(Simple path branch predictor)는 이전 분기 명령어와 현재 분기 명령어 주소 그리고 패턴 히스토리를 XOR한 값을 인덱스로 패스 예측표의 카운터 값에 따라 예측하는 패스 예측 방법이다.



(그림 3) 분기 예측 구조

〈표 2〉 패턴/패스 통합 분기 예측 구조의 예측 정확도

벤치마크	총 예측 정확도	강편향분기	gshare ==GAg	path_only
espresso	94.122	98.864	87.958	71.763
gs	96.154	99.287	93.524	85.953
make	98.328	99.449	96.639	91.100
p2c	95.754	99.172	90.610	72.448
ls	96.507	99.245	90.878	74.068
compress	89.355	98.952	80.734	65.647
평균	95.03	99.16	90.05	76.82

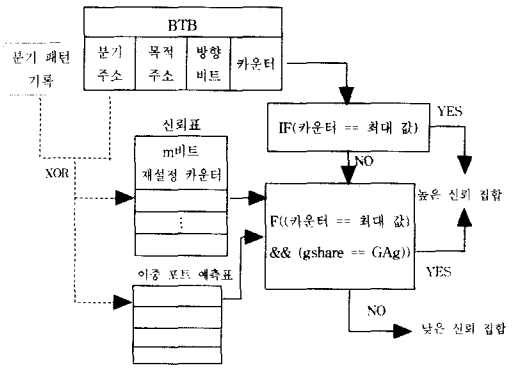
<표 2>는 1K개의 항목을 갖는 BTB와 12비트 크기의 전역 패턴 히스토리를 갖는 (그림 3)의 분기 예측 구조를 사용하여 제안된 구조의 예측 정확도를 분석한 것이다.

BTB를 통해 예측되는 강편향 분기 명령어들은 예측 정확도가 평균 99.16%로 거의 정확히 예측된다. 이런 분기 명령어들은 SDPE에서 사용하는 신뢰 메커니즘을 통해 분류할 필요 없이 높은 신뢰 집합에 바로 포함시킬 수 있다. 이 방법은 LDPE에서 강편향 분기 명령어들이 예측 집합에 포함되는 것과 같은 원리이다. 본 연구에서는 <표 2>의 분석 결과를 근거로 BTB를 통해 예측되는 분기 명령어들은 높은 신뢰 집합에 정적으로 포함시키고, 나머지 명령어들은 SDPE의 동적 신뢰 메커니즘을 사용하여 두 개의 집합으로 나누는 통합 신뢰 메커니즘을 제안한다.

(그림 4)는 제안한 통합 신뢰 메커니즘의 운영 방법이다. 조건 분기 명령어가 참조되면 BTB의 카운터를 참조하여 최대 값이면 높은 신뢰 집합으로 분류하고, 최대 값이 아니면 분기 주소와 분기 패턴 기록을 XOR한 값을 인덱스로 하여 신뢰표의 재설정 카운터 값을

참조한다. 신뢰표의 카운터 값이 최대 값이고 gshare와 변형 GAg가 동일한 방향으로 예측하면 높은 신뢰 집합으로 분류하고, 나머지는 낮은 신뢰 집합으로 분류한다.

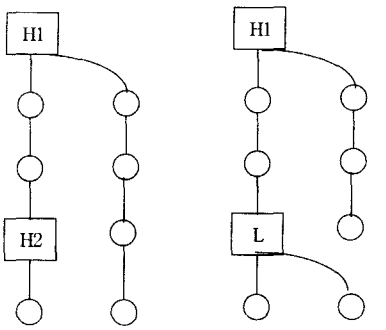
따라서 강편향 분기 명령어들을 제외한 분기 명령어들만 신뢰표에서 예측하므로, 모든 분기 명령어들을 신뢰표에서 예측하는 기존의 이중 경로 전략보다 간섭에 의한 예측 실패가 적게 발생한다.



(그림 4) 통합 신뢰 메커니즘의 운영

분기 명령어를 높은 신뢰 집합에 속하면 H로 낮은 신뢰 집합에 속하면 L로 표시하면, 인접한 두 개의 분기 명령어는 HH, HL, LH, LL의 4가지 속성을 가질 수 있다. 신뢰 메커니즘의 성능과는 별개로 기존의 이중 경로 전략은 낮은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어들이 이중 경로를 사용하지 못하는 확률을 줄이는 것을 목적으로 한다. 이것은 기존의 이중 경로 전략이 HL과 LL인 경우에 발생하는 분기 지연만을 줄일 수 있음을 의미한다. 그러나 80% 이상의 분기 명령어들이 높은 신뢰 집합에 속하므로 실제로는 HH인 경우가 상대적으로 많이 발생한다. 더욱이 낮은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어들은 모여있는(clustering) 경향이 있으므로[4] 실제로는 HH인 경우가 더 많이 발생할 것이다. 따라서, 기존의 이중 경로 전략으로는 제한적인 성능 향상만 가능하다.

본 논문에서는 HH인 경우에 발생하는 분기 지연을 줄이기 위해, 낮은 신뢰 집합에 속한 분기 명령어에 대해 이중 경로 사용에 대한 우선 순위를 주고 이중 경로가 사용되지 않고 있는 경우에는 높은 신뢰 집합에 속한 분기 명령어들도 이중 경로를 사용할 수 있는 적극적 이중 경로 전략(Eager Dual Path Strategy : EDPS)을 제안한다. 즉, 이중 경로가 사용되지 않고 있는 경우에 분기 명령어들이 페치되면 무조건 이중 경로를 사용한다. 이 명령어가 높은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어(H)이고 분기 결과가 알려지기 전에 높은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어(H)가 페치되면 그대로 이중 경로를 진행하고, 낮은 신뢰 집합에 속한 분기 명령어(L)가 페치되면 이중 경로 진행을 중지하고 낮은 신뢰 집합에 속한 분기 명령어에 두 번째 경로를 할당한다.



(그림 5) EDPS에서 두 번째 경로의 운영

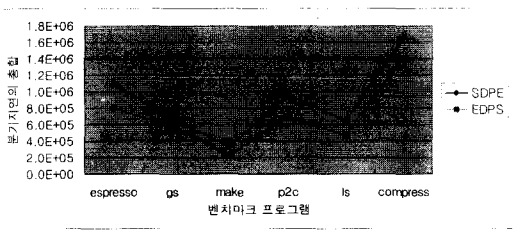
(그림 5)는 EDPS의 운영 방법을 보인 것이다. (그림 5(a))는 높은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어들에 이중 경로를 사용한 경우로 기존의 이중 경로 전략과는 달리 분기 예측이 실패해도 분기 지연이 발생하지 않을 수 있음을 보인 것이다. (그림 5(b))는 높은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어들이 이중 경로를 사용하여도 낮은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어에 두 번째 경로를 우선적으로 할당하므로, 낮은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어들이 이중 경로를 사용할 확률이 줄어들지 않음을 보인다.

3장에서 제시된 파이프라인 구조에 대해 3비트 크기의 재설정 카운터를 항목으로 갖는 신뢰표를 사용하고 (그림 3)의 분기 예측 구조를 갖는 경우에, <표 3>은 SDPE의 신뢰 메커니즘과 제안된 통합 신뢰 메커니즘에서 높은 신뢰 집합의 분기 명령어 비율과 신뢰 예측 정확도를 비교한 것이고, (그림 6)은 SDPE와 EDPS에서 발생하는 분기 지연들의 총합을 비교한 것이다. 높은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어의 예측이 실패하면 4 사이클의 페널티가 발생하고, 낮은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어들에 의한 페널티는 이 분기 명령

어들간의 거리가 16 이하이면 4 사이클 발생하는 것으로 가정하였다. 그리고 분기 명령어의 결과가 알려지기까지는 16개의 명령어들이 있을 수 있다.

〈표 3〉 높은 신뢰 집합의 정확도와 명령어 비율

	SDPE		EDPS	
	신뢰 예측 정확도(%)	명령어 비율(%)	신뢰 예측 정확도(%)	명령어 비율(%)
espresso	98.064	78.258	98.417	79.073
gs	99.058	84.022	99.168	84.088
make	99.402	93.307	99.389	90.625
p2c	98.292	82.618	98.708	84.181
ls	98.937	86.790	98.949	87.633
compress	97.491	65.670	97.508	66.380
평균	98.54	81.78	98.69	82.00



(그림 6) 분기 지연의 총합

<표 3>과 (그림 6)에서 EDPS는 모든 프로그램에서 분기 지연들의 총합을 감소시키며, 높은 신뢰 집합의 명령어 비율과 신뢰 예측 정확도는 make를 제외한 모든 프로그램들에서 개선됨을 알 수 있다. make는 gshare의 예측 정확도가 매우 높으므로[13], gshare와 동일한 해시 함수를 사용하는 SDPE의 신뢰 메커니즘의 정확도가 매우 높기 때문이다.

SDPE와 비교한 EDPS의 상대적 성능 개선은 다음과 같다. EDPS는 높은 신뢰 집합의 명령어 비율을 평균적으로 81.78%에서 82.00%로, 신뢰 예측 정확도를 98.54%에서 98.69%로 개선하며, 전체적인 성능 평가에 사용된 분기 지연들의 총합을 22% 줄임을 알 수 있다. 제안된 구조는 SDPE에 추가적인 하드웨어 없이 구현되었으므로 SDPE와 비교해 동일한 비용으로 상대적으로 높은 성능 개선을 보이는 효율적인 구조로 검증되었다.

5. 결 론

신뢰 메커니즘을 사용하는 기존의 이중 경로 전략은 낮은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어들이 이중 경로를 사용하지 못하는 확률을 줄이는 것을 목적으로 한다. 이것은 기존의 이중 경로 전략이 HL과 LL인 경우에 발생하는 분기 지연만을 줄일 수 있음을 의미한다. 그러나 80%이상의 분기 명령어들이 높은 신뢰 집합에 속하므로 실제로는 HH인 경우가 상대적으로 많이 발생한다. 따라서, 기존의 이중 경로 전략으로는 제한적인 성능 향상만 가능하다. 또, HL과 LL인 경우에 발생하는 분기 지연을 줄이기 위해서는 높은 신뢰 집합의 정확도와 명령어 비율을 동시에 높여야 하지만 기존의 신뢰 메커니즘으로는 이 문제를 해결하기 어렵다.

따라서, 본 논문에서는 강편향 분기 명령어들을 높은 신뢰 집합에 정적으로 포함시키고, 나머지 분기 명령어들만 신뢰 메커니즘을 통해 동적으로 분류하는 새로운 통합 신뢰 메커니즘을 제안하고, 높은 신뢰 집합에 속한 분기 명령어들도 이중 경로를 사용할 수 있는 적극적 이중 경로 전략(EDPS)을 제안하였다. 제안된 전략의 검증에는 추적 기반의 시뮬레이션을 사용하였고, 성능 평가 척도로는 조건 분기 명령어 실행으로 발생하는 분기 지연들의 총합을 사용하였다.

6개의 벤치마크 프로그램을 시뮬레이션한 결과, EDPS는 기존의 동일한 비용의 이중 경로 실행에 비해 높은 신뢰 집합에 속하는 분기 명령어의 비율은 81.78%에서 82.00%로, 신뢰 예측 정확도는 98.54%에서 98.69%로 약간 개선되었고, 분기 지연들의 총합은 22% 줄었다. 제안된 구조는 높은 신뢰 집합의 명령어 비율과 신뢰 예측 정확도를 개선하며, 전체적인 성능 평가에 사용된 분기 지연들의 총합을 줄이는 효율적인 구조로 검증되었다.

참 고 문 헌

[1] Brad Calder and Dirk Grunward, "Fast & Accurate Instruction Fetch and Branch Prediction," Proc. 21th Ann. Symp. Computer Architecture, pp.2-11, 1994.

[2] Tse-Yu Yeh and Tale N Patt, "A Comparison of Dynamic Branch Predictors that use Two Levels of Branch History," Proc. 20th Ann. Symp. Computer Architecture, pp.257-266, 1993.

[3] Brad Calder et. al., "Dynamic Hammock Prediction for Non-predicted Instruction Set Architec-

tures," Proc. Conf. Parallel Architectures and Compilation Techniques, 1998.

[4] Timothy Heil and James Smith. "Selective Dual Path Execution," November, University of Wisconsin-Madison, 1996.

[5] Gray Tyson, Kelsey Lick, and Matthew Farrens. Limited Dual Path Execution. CSE-TR 346-97, University of Michigan, 1997.

[6] A. Uht and V. Sindagi, "Disjoint Eager Execution : An Optimal Form of Speculative Execution," Proc. 22th Ann. Symp. Computer Architecture, pp.313-325, 1995.

[7] D. Wall, "Limits of Instruction-Level Parrallelism," Digital Western Research Laboratory Research Report 93/6, 1993.

[8] Bob Cmelik and David Keppel, "Shade: A Fast Instruction-Set Simulator for Execution Profiling," Sigmetrics, ACM, pp.138-137, 1994.

[9] Sun microsystem, "shade user's manual," available at http://sw.sun.com/shade.

[10] Po-Young Chang, "Classification - Directed Branch Predictor Design," The University of Michigan, available at http://www.cs.umich.edu., 1997.

[11] 주영상, 조경산, "분기 예측과 이중 경로 전략을 결합한 파이프라인 구조에 관한 연구", 정보 처리 논문지, 제3권 제1호, pp.181-190, 1996.

[12] 주영상, 조경산, "Victim BTB를 활용한 히트율 개선과 효율적인 통합 분기 예측", 정보 처리 논문지, 제5권 제10호, pp.2676-2685, 1998.

[13] 주영상, 조경산, "다중 포트된 스큐드 분기 예측기의 성능 분석", 정보 처리 학회 추계 학술 발표 논문집 제5권 제2호, pp.1215-1218, 1998.

주 영 상

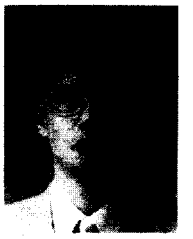
e-mail : image@dankook.ac.kr

1990년 고려대학교 재료공학과 졸업(학사)

1995년 단국대학교 전산통계학과 졸업(이학석사)

1995년~현재 단국대학교 전산통계학과 박사과정

관심분야 : 구조론 및 성능평가



조 경 산

e-mail : kscho@dankook.ac.kr

1979년 서울대학교 전자공학과 졸업(학사)

1981년 한국과학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)

1988년 텍사스대학교(오스틴소재) 전기 전산 공학과 졸업(Ph.D.)

1988년~1990년 삼성전자 컴퓨터 부문 책임 연구원

1990년~현재 단국대학교 전산통계학과 교수

관심분야 : 구조론 및 성능평가, 컴퓨터 통신, 시뮬레이션