

스마트 시티 클라우드 센터의 부하 분산을 위한 더티 페이지 예측 기반 마이그레이션 기법

권영준¹, 이재민², 전태수³, 김동성^{*}

금오공과대학교 {IT융복합공학과^{12*}, 컴퓨터소프트웨어공학과³}

{enuj_young¹, ljmpaul², taesoo.jun³, dskim^{*}}@kumoh.ac.kr

Dirty Page Predictive Migration Scheme for Load Balancing in Smart City Cloud Centers

Young-June Kwon¹, Jae-Min Lee², Tae-Soo Jun³ and Dong-Seong Kim^{*}

Kumoh National Institute of Technology

Dept. of {IT Convergence^{12*}, Computer Software³} Eng.

요약

본 논문은 스마트 시티의 인프라 확대에 의한 클라우드 데이터 센터의 부하 불균형에도 대응할 수 있는 더티 페이지 예측 기반 마이그레이션 기법을 제안한다. 스마트 시티 환경에 대한 요구사항을 만족하기 위해서는 총 마이그레이션 시간을 감소시켜 실시간성을 확보해야 한다. 하지만 기존 마이그레이션에 대한 연구는 더티 페이지 예측률이 높은 페이지에 post-copy 방식의 마이그레이션 기법을 사용하는 것을 고려하지 않았다. 따라서 본 논문에서는 더티 페이지 예측률에 따라 다른 마이그레이션 기법을 적용할 것을 제안한다. 본 기법은 관측 주기를 정의한 뒤 이전 세주기 동안 더티 페이지 여부를 관측하여 다음 주기 더티 페이지 발생률을 계산한다.

I. 서론

최근 IoT(Internet of Things) 기반 환경의 발전에 따라 스마트 시티의 부하 분산에 대한 연구가 진행되고 있으며 옛지 노드로의 오프로딩에 대한 연구가 진행되고 있다[1]. 스마트 시티에서는 중앙집중식 클라우드 데이터 센터를 이용하여 사용자의 요구를 수행한다. 그러나 스마트 시티의 발전에 따라 인프라는 점차 확대되고 사용자 요구 기반의 추가 서비스에 의해 클라우드 데이터 센터 내의 부하는 증가한다. 이에 따라 데이터 센터 내 부하의 불균형한 분포가 발생하게 된다[2]. 불균형한 부하 분포는 과부하를 발생시키고 이 경우 데이터 드랍을 야기하여 QoS(Quality of Service)가 저하된다[3]. 이러한 부하 불균형 현상을 해결하기 위해서는 실시간 마이그레이션 기법을 통해 부하를 분산하여야 한다. 더티 페이지란 기존 VM의 디스크 내 기존 페이지이며 최근 변경되었지만, 아직 갱신 또는 디스크에 기입이 되어있지 않은 페이지이다. 기존의 마이그레이션 기법은 fitness 기능을 사용하여 핫 스팟과 콜드 스팟을 구별하여 마이그레이션 VM(Virtual Machine)을 선별한다[4]. 그러나 더티 페이지 비율을 예측하는 알고리즘을 고려하지 않아 총 마이그레이션 시간이 증가할 수 있다. 또 다른 기존 마이그레이션 기법은 더티 페이지 비율을 예측하였으나 각 VM의 더티 페이지 비율과 관계없이 pre-copy 방식의 마이그레이션을 수행하여 스마트 시티의 실시간성을 저하시킨다[4]. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 시계열 분석 기법인 선형 이동 평균법을 적용하여 더티 페이지 예측률을 판단하고 예측한 값에 따라 마이그레이션 방식에 차별화를 두는 기법을 제안한다.

II. 관련 연구 및 기존 라이브 마이그레이션의 문제점 분석

pre-copy 방식의 마이그레이션은 해당 VM의 모든 페이지가 첫 번째 라운드에서 목적 피지컬 노드로 마이그레이션 된다. 그 후 더티 페이지의 생성에 의해 다음 반복 라운드에서 다시 마이그레이션 된다. 기존 연구에서는 fitness 기능을 사용하여 핫 스팟과 콜드 스팟을 구별하여 마이그레이

션 대상 VM을 선별한다. 마이그레이션 관리자가 활용률이 높은 피지컬 노드의 VM을 처리 가능한 용량이 있는 다른 대상 물리적 노드로 마이그레이션 하여 부하 분산을 가능하게 한다. 그림 1은 에너지 활용이 적은 노드를 종료 대신 클러스터로 그룹화해 노드의 유휴기간에 클러스터를 형성함을 나타낸다. 노드를 sleep 모드로 유지해 에너지 활용을 최적화하고 작업 분류를 위한 병렬처리 가능하게 한다. 그러나 이 방법은 콜드 스팟 피지컬 노드에서 핫 스팟 피지컬 노드로 부하를 마이그레이션 해 핫 스팟으로 구분된 기존의 피지컬 노드에 과부하를 유발한다. 이 경우 데이터 드랍이 발생해 신뢰성을 저하한다. 또한 콜드 스팟의 부하를 핫 스팟으로 옮기는 불필요한 마이그레이션을 진행하는 것은 마이그레이션시 발생하는 다운타임으로 인해 실시간성을 저하한다. 또한 더티 페이지 갱신률을 고려하지 않고 과부하 된 VM을 다른 피지컬 노드로 마이그레이션 하는 것은 SLA(Service Level Agreement) 및 총 마이그레이션 시간으로 인해 대상 호스트에서 재개하는 데 시간이 걸리게 된다. 총 마이그레이션 시간 증가는 실시간성을 저하시켜 높은 실시간성을 요구하는 스마트 시티 환경에는 적합하지 않다.

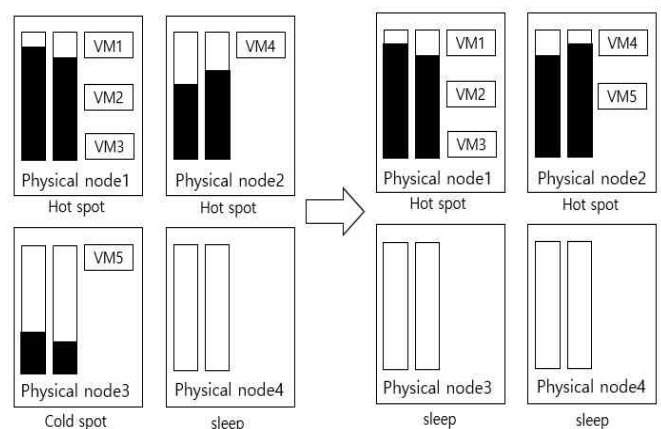


그림 1 콜드 스팟에서 핫 스팟으로의 불필요한 마이그레이션

III. 제안하는 더티페이지 예측 및 마이그레이션 기법

Algorithm 1 : Selecting method migration scheme base on dirty page prediction rate

```

Input: pagel.p.sum, pagel.p+1.sum, ..., pagel.n.sum
output:  $F_{p+5}$ 
Procedure
  if (migration request in the  $p+2$  cycle)
    take the sum value of ( $p, p+1, \dots, p+4$ )
    for ( $i=1, i < 4, i++$ )
      ( $p.sum + p+1.sum + p+2.sum$ )/3 =  $MA_{p+2}$ 
       $p++$ 
    end for
    end if
    end if
    ( $MA_{p+2} + MA_{p+3} + MA_{p+4}$ )/3 =  $MA_{p+4}^1$ 
     $F_{p+5} = [2 * MA_{p+4} - MA_{p+4}^1] + 2/[m-1][MA_{p+4} - MA_{p+4}^1]$ 
    return true
  End procedure

```

그림 2 제안하는 더티 페이지 예측 알고리즘

그림 2는 시계열 분석 기법인 선형 이동 평균법을 적용하여 더티 페이지 발생률을 예측하는 알고리즘이다. 입력으로는 각 페이지의 더티 페이지 발생 횟수를 받는다. 표 1은 세주기 동안 pagel의 더티 페이지 발생 여부를 나타낸다. pagel.p의 p-2 주기값은 더티 페이지 발생을 나타내며 pagel.p의 p-1 주기값은 더티 페이지 미발생을 나타낸다. 각 피지컬 노드의 더티 페이지를 예측하기 위해 관측 주기(Observation Period) p를 정의한다. 각 페이지 당 최근 10번의 더티 페이지 발생 횟수 정보만 가지고 있으며 발생 횟수를 모두 더해 sum에 저장한다. 표2는 p주기에 따른 pagel의 더티 페이지 예측값을 나타낸다. sum에 저장된 값을 기반으로 선형 이동 평균법을 적용하며 m값은 3으로 지정하였으며 sum에 저장된 세 가지 값의 평균으로 이동평균(MA_p)을 계산한다. 또한 세 가지 이동평균 값의 평균으로 이중이동평균(MA_p^1) 값을 계산한다. 수식 (1)은 예측값 계산 공식이다. 앞선 방식으로 구하였던 이동평균값과 이중이동평균값을 대입하여 예측값을 계산한다.

표 1 세주기 동안 pagel의 더티 페이지 발생 빈도

	p	p-1	p-2	p-3	p-4	p-5	p-6	p-7	p-8	p-9	sum
pagel. p	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	7
pagel. $p+1$	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	6
pagel. $p+2$	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	5

표 2 p 주기에 따른 pagel의 더티 페이지 예측값

p	sum	이동평균(MA_p)	이중이동평균(MA_p^1)	예측값(F_p)
p	7	-	-	-
p+1	6	-	-	-
p+2	5	6	-	-
p+3	6	5.8	-	-
p+4	5	5.3	5.7	-
p+5	4	5.36	5.48	4.5

$$F_{p+5} = [2 * MA_{p+4} - MA_{p+4}^1] + 2/[m-1][MA_{p+4} - MA_{p+4}^1] \quad (1)$$

그림 3은 각 더티 페이지 예측 기반 마이그레이션 알고리즘이다. 선형 이동 평균법을 통해 예측된 더티 페이지 발생률을 통해 각 페이지를 마이그레이션 할 기법을 선택한다. $F_p < 3.1$ 인 경우 더티 페이지 발생률이 낮으므로 pre-copy 방식의 마이그레이션을 진행한다. $3.1 \leq F_p \leq 8.1$ 인 경우 pre-copy와 post-copy 방식을 모두 포함한 hybrid-copy 방식의 마이그레이션을 진행한다. $8.1 < F_p$ 의 경우 더티 페이지 발생률이 높으므로 post-copy 방식의 마이그레이션을 진행한다.

Algorithm 2 : Selecting method migration scheme base on dirty page prediction rate

```

Input: Node() Physical Node=[ $n_1, n_2, n_3, \dots, n_n$ ]
output: Migration method
Procedure
  do
    Predict dirty page prediction rate( $F_p$ )
    while (No migration request for physical node)
      if ( $F_p < 3.1$ ) then
        Implementing in a pre-copy
      end if
      if ( $3.1 \leq F_p \leq 8.1$ ) then
        Implementing in a hybrid-copy
      end if
      if ( $8.1 < F_p$ ) then
        Implementing in a post-copy
      end if
    end if
    return true
  End procedure

```

그림 3 제안하는 더티 페이지 예측 기반 마이그레이션 알고리즘

IV. 결론

본 논문에서는 시계열 분석 기법인 선형 이동 평균법을 적용하여 더티 페이지 발생률을 예측하고 예측값에 해당하는 마이그레이션 기법을 적용하는 기법을 제안한다. 관측 주기 p를 정의하고 세주기 동안의 더티 페이지 여부를 관측한 뒤 선형 이동 평균법을 적용하였다. 하지만 모든 페이지의 크기가 같다는 것을 전제로 두었기 때문에 더티 페이지 발생률 예측값이 $F_p < 3.1$ pre-copy에 해당하더라도 페이지의 크기가 크다면 post-copy 방식의 마이그레이션 기법을 적용하는 것이 효과적일 수 있다. 이러한 점을 보완하여 마이그레이션 기법을 선택할 때 더티 페이지 예측에 더해 각 페이지의 크기 또한 고려하는 방식으로 개선할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업(2018R1A6A1A03024003)과 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 Grand ICT연구센터지원사업의 지원(IITP-2022-2020-0-01612)과 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2022R1I1A3071844).

참 고 문 헌

- [1] X.- Q. Pham, D.- S. Kim, "Partial Computation Offloading in Parked Vehicle-assisted Multi-access Edge Computing: A Game-Theoretic Approach", IEEE Transactions Vehicular Technology, vol. 71, pp. 10220-10225, 2022
- [2] R. Beraldi, G.- P. Mattia, C. Canali and R. Lancellotti, "Distributed Load Balancing for Heterogeneous Fog Computing Infrastructures in Smart Cities", Pervasive and Mobile Computing, vol. 67, pp. 1-16, 2020
- [3] E. Papadogiannaki, L. Koromilas, G. Vasiliadis, S. Ioannidis, "Efficient Software Packet Processing on Heterogeneous and Asymmetric Hardware Architectures", IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 25, pp. 1-14, 2017
- [4] V. Chinnaiah, S.- G. Pudi, T.- S. Somasundaram, S.- S. Basha, "A Cloud Resource Allocation Strategy based on Fitness based Live Migration and Clustering", Wireless Personal Communications, vol. 98, pp. 2943 - 2958, 2018