

WRF 응용의 대용량 데이터를 활용한 자원 사용 패턴 분석

오지선[○] 송내영[□] 김윤희^{○*}

[○]숙명여자대학교 컴퓨터학과 [□]서울대학교 컴퓨터공학과

[○]{jsoh8088, yulan}@sookmyung.ac.kr [□]nysong@dcslab.snu.ac.kr

An Analysis of Resource Usage Patterns Using Large Data for Weather Research and Forecasting(WRF) Model

Jisun Oh[○] Nae young Song[□] Yoonhee Kim^{○*}

[○]Dept. of Computer Science, Sookmyung Women's University

[□] Dept. of Computer Science and Engineering, Seoul National University

요 약

대용량 데이터 응용은 연속적인 단계를 거쳐 진행되며, 이를 위해 응용 분석을 통한 동적 자원 관리 기술을 제공하는 연구 환경의 필요성이 대두되고 있다. 이에 본 논문에서의 응용 분석 실험에서는 WRF 응용을 사용하여 bursty한 메모리 사용 패턴을 파악한 후, 메모리 자원 재구성 기법 스케줄링을 포함하여 WRF 응용의 특성에 맞는 프레임워크 구조를 제안한다.

1. 서 론

대용량 데이터 응용은 많은 수의 작업들로 이루어져 있으며, 이를 지원하기 위해 응용 분석을 통한 자원들을 배치/관리하는 기술은 중요하다. IT 인프라를 동적으로 관리하는 소프트웨어 정의 기술이 대두됨에 따라 이를 적용한 연구 환경이 필요하다. 소프트웨어 정의 기술은 서비스의 특성에 따라 자원 관리 기술을 제공하며 동적으로 네트워크를 관리하는 SDN(Software-defined Network) 및 동적 데이터 배치 작업을 수행하는 SDC(Software-defined Compute)를 고려한다[1]. 이와 함께 클라우드 컴퓨팅 환경에서의 서비스 특성을 반영한 소프트웨어 중심의 연구가 활발히 진행 중이다.

일괄 배치 작업은 자원이 독점적으로 활용 가능한 시점에 분석을 진행하는 형태이다. 기존의 HPC 연구는 일괄 배치 형태를 활용하고 있으나, 대용량 데이터 과학 응용은 연속적인 단계를 거쳐 장시간 처리 되는 경우가 많아 자원 활용에 어려움이 있다. 따라서 응용의 런타임 특성에 따라 자원을 동적으로 처리하는 환경이 필요하다. 대용량 과학 응용의 성능 처리와 분석 및 결과 검증 문제를 해결하는 고성능 연구 환경이 제공되어야 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에는 관련 연구를 살펴보고, 3장에서는 WRF 응용의 대용량 데이터 실험을 통해 응용을 분석하였다. 4장에서는 응용 분석을 통해 프레임워크 구조를 제안한다. 마지막 5장에서는 결론 및 향후 연구를 설명한다.

2. 관련 연구

대용량 데이터를 기반으로 하는 응용 프로그램은 응용 특성 분석을 통한 실행 및 관리가 필요하다. Chen[2]은 MIC(Maximum Information Criterion) 기반 성능 진단 접근법과 ARIMA[3] 성능 모델을 통해 성능 이상 탐지 방법을 포함하는 플랫폼을 제안하였다.

위의 논문의 연구에서는 데이터 집약적인 응용의 성능 문제의 원인은 탐지하지만, 응용의 특성을 반영한 성능 저하 문제는 해결해 주고 있지 않는다. 따라서 응용 분석을 바탕으로 특성을 반영해 이를 해결해 줄 수 있는 방법이 필요하다. 이에 본 논문에서는 대용량 데이터 실험을 통해 WRF 응용 특성을 분석하여 반영한 자원 및 작업 관리 프레임워크 구조를 제안한다.

3. 대기 연구 및 운영 예측 응용의 대용량 데이터 실험 및 분석

대기 연구 및 운영 예측 응용인 WRF(Weather Research and Forecasting)는 전처리 단계인 WPS(WRF Pre-processing)[4]와 모형 본체인 WRF로 구성되어 기상 환경에 대한 실험과 예보를 실시한다. 그림 1은 WRF 응용 실행 구조도를 보여준다[4]. WPS 단계인 geogird.exe, ungrib.exe와 metgrid.exe 모듈에서 WRF 본체에 사용될 도메인 변수와 기후 데이터를 내삽한다.

* 교신저자

전처리 과정이 완료되면 WRF 본체인 real.exe와 wrf.exe 모듈에서 초기장과 경계장 파일을 생성하고 실제 예보를 위한 적분 연산을 수행한다[5].

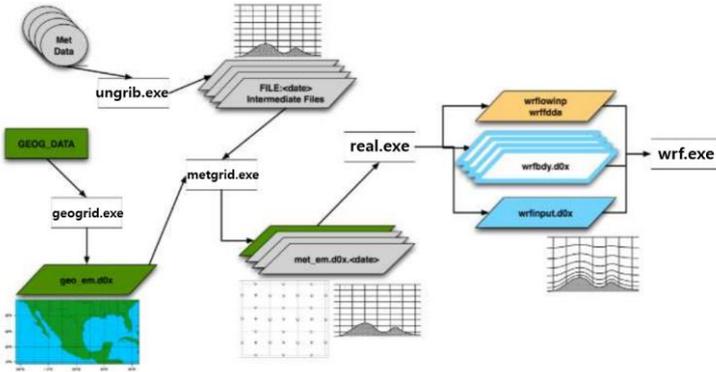


그림 1. WRF 응용 실행 구조도

본 논문에서는 대기 연구 및 운영 예측 응용인 WRF의 대용량 입력 데이터 실험을 진행하였다. WRF의 대용량 입력 데이터 실험은 1) 예보 기간의 확장과 2) 고해상도로 조정하여 진행한다. ungrib 모듈에서 입력 데이터 기간의 확장과 geogrid 모듈에서 도메인 크기를 확대, 고해상도로 조정하였다. 실험환경의 정보는 표 1과 같으며, WRF version 3.6.1을 사용하였다. 응용 데이터로는 미국 동부 해안의 겨울 폭풍 데이터(JANUARY 2000)와 동아시아 여름 태풍 데이터(NCEP FNL) 재분석 자료를 사용하였다.

표 1. 실험 환경

실험	CPU	Core	RAM
예보 기간 확장	Intel(R) Core(TM) i7 CPU 950 @3.07GHz	8	26GB
고해상도 조정	Intel(R) Xeon(R) CPU E7-8870 v3 @ 2.10GHz	72	1TB

1) 예보 기간 확장 실험

예보 기간 확장 실험은 ungrib에서 데이터의 적분 기간(h)을 JANUARY 2000, NCEP FNL 각각 24, 738으로 늘려 진행하였으며, 각 모듈당 입출력 데이터 크기와 수행 시간을 비교 분석 하였다. 실험의 결과는 표 2와 같다. 데이터 적분 기간을 늘린 NCEP FNL 데이터의 경우, JANUARY 00 데이터와 비교 하였을 때 ungrib 과정 후 출력 데이터가 늘어난 것을 확인할 수 있다. 또한 적분 연산을 수행하는 wrf 과정에서 NCEP FNL 데이터 수행 시간이 급격하게 증가하는 것으로 보아 bursty한 패턴으로 파악된다.

표 2. 데이터 크기 및 수행 시간 비교

과정	입출력 데이터 크기 (MB)		수행 시간
	입력 데이터	출력 데이터	

	JAN 00	FNL	JAN 00	FNL	JAN 00	FNL
geogrid	50000 (static)		2	8	-	-
ungrib	32	1800	70	5092	-	6m 2s
metgrid	72	5100	27	2546	-	2m 19s
real	27	2546	18	568	-	1m 11s
wrf	18	568	41	6500	(단일 CPU) 3m 47s (다중 CPU) 2m 4s	(단일 CPU) 756m (다중 CPU) 417m

2) 고해상도 조정 실험

표 3. 해상도 변수

Contents	Description
E_WE	동서 격자의 수
E_SN	남북 격자의 수
DX	동서 격자의 크기(m)
DY	남북 격자의 크기(m)

고해상도 조정 실험은 geogrid 단계에서 도메인 크기를 확장하여 진행하였으며, 고해상도를 위해 표 3과 같이 환경설정 파일 내의 변수 값을 조절한다. NCEP FNL 재분석 데이터의 적분 기간은 3일이며, 데이터의 격자를 3km로 조절하였다. wrf 단계에서 32개의 thread로 실행하였으며 총 374분의 실행시간이 소요되었고 최대 80GB의 메모리 사용량을 보였다. 이를 통해 WRF 응용이 memory intensive 응용임을 알 수 있다. 그림 2는 WRF 응용 본체의 메모리 free space를 보여준다. 이는 특정 모듈에 높은 메모리를 요구하는 bursty memory 패턴을 가진 응용으로 분석된다.

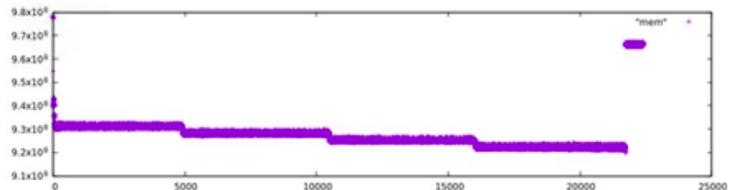


그림 2. wrf.exe 모듈의 메모리 free space

대용량 입력 데이터 실험을 통해 WRF 응용의 특성을

분석하였다. 특정 모듈에서 수행 시간이 급격하게 증가하며 높은 메모리 사용량을 보인다. 다중 CPU로 수행하였을 시 수행 시간이 감소하는 것으로 보아 병렬 처리 구성이 필요하다. 이러한 응용의 분석을 반영하여 WRF 응용 실행 프레임워크 구조를 제안한다.

4. WRF 응용 실행을 위한 소프트웨어 정의 컴퓨트(SDC) 프레임워크

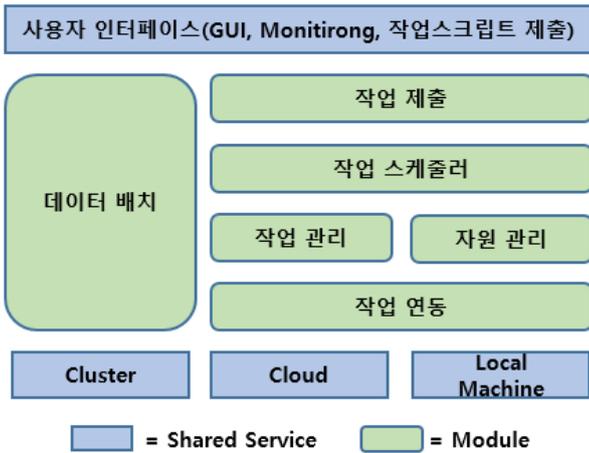


그림 3. WRF 응용의 소프트웨어 정의 컴퓨트(SDC) 프레임워크 구조

본 논문에서 제안하는 WRF 응용 실행을 위한 소프트웨어 정의 컴퓨트 프레임워크 구조는 그림 3과 같다. 이 구조는 WRF 응용의 대용량 데이터 전송과 응용 분석을 통한 계산 배치의 문제를 효과적으로 해결할 수 있도록 데이터 배치 및 작업 스케줄러를 포함한다. 사용자는 인터페이스를 통해 작업 제출 내용이 명세 되어있는 파일을 제출하며, 작업 제출 모듈에서 파일의 매개 변수 범위에 따라 작업을 생성한 후 작업의 정보와 함께 작업 관리 모듈로 전달한다. 또한 WRF 응용 분석으로 도출된 특징 등을 통해 세밀한(fine-grained) 자원 요구를 충족시키는 SDC 기술 기반의 작업 스케줄링 기법을 제공한다[6]. 메모리 자원 집중 사용 패턴 분석을 기반으로 메모리 자원 재구성 기법 스케줄링을 적용한다. 메모리 필요 시점에 동적 메모리 할당과 반환을 수행한다. 이를 바탕으로 응용의 메모리 자원 요구가 bursty하게 발생하는 단계에서 메모리 유휴 자원 사용을 최대화하여 수행할 수 있도록 한다[7]. 작업 관리 모듈은 WRF의 응용 단계에 따라 작업들을 스케줄링한다. 많은 수행시간이 걸리는 wrf 단계의 경우, OpenMP 스레드 및 MPI 프로세스, SIMD 벡터화, 메모리 액세스 최적화, 스레드 스케줄링 등과 같은 성능 최적화 기술을 적용할 수 있다. 또한 Huang[8] 논문에서 언급한 내용과 같이 벡터화 요소와 많은 코어

구조를 제공하여 병렬화 요소를 적용하는 기술을 탑재한 작업 관리 모듈을 제안한다. 높은 컴퓨팅 성능을 위해 응용 코드 구조를 파악하고 이에 따른 병렬 처리 작업을 지원하여 자원관리 모듈로 제출한다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 대용량 입력 데이터 실험을 통해 WRF 응용을 분석하였다. WRF 응용은 특정 단계에서 급격하게 수행시간이 증가하며 높은 메모리를 요구하는 bursty한 패턴으로 분석된다. 이에 이러한 응용의 특성 및 데이터 이동을 고려한 스케줄링을 포함하여 WRF 응용 프레임워크 구조를 제안하였다.

향후에는 앞 장에서 제안한 프레임워크 구조를 적용하여 이기종 환경을 고려한 WRF 프레임워크를 설계 및 구현할 계획이다.

Acknowledgement

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2017R1A2B4005681)

참고 문헌

[1] Nam, Yoonsung, et al. "Workload-aware resource management for software-defined compute." Cluster Computing 19.3 : 1555-1570, 2016

[2] Chen, Pengfei, et al. "An ensemble MIC-based approach for performance diagnosis in big data platform." Big Data, 2013 IEEE International Conference on. IEEE, 2013. [3] P. J. Brockwell and R. A. Davis, Introduction to time series and forecasting. Taylor & Francis US, 2002.

[4] WRF, <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/>

[5] 오지선, 이효정, 김윤희, "HPC 응용의 런타임 실행 패턴에 따른 소프트웨어 정의 계산 구조 분석", KNOM Review, Vol. 20, No. 1, Aug. 2017, pp. 17-23.

[6] 안주림, et al. "과학 응용 실험을 위한 하이브리드 자원 활용 소프트웨어정의 컴퓨팅 (SDC) 플랫폼 설계." 한국정보과학회 학술발표논문집 : 1499-1501, 2017

[7] Adufu, Theodora, Yoonhee Kim. "Dynamic Memory Allocation for Scientific Workflows in Containers." 정보과학회논문지 44.5 : 439-448, 2017

[8] Huang, Melin, Bormin Huang, and Hung-Lung Allen Huang. "Acceleration of the WRF Monin-Obukhov-Janjic Surface Layer Parameterization Scheme on an MIC-Based Platform for Weather Forecast." IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 10.10 (2017): 4399-4408.