

데이터센터 열환경 제어를 위한 온도 예측모델 개발

Development of Temperature Prediction Model for Thermal Environment Control in Data Center

저자 (Authors)	조지현, 박보량, 최영재, 문진우 Cho, Ji Hyeon, Park, Bo Rang, Choi, Young Jae, Moon, Jin Woo
출처 (Source)	한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집 20(2) , 2020.12, 114-115 (2 pages)
발행처 (Publisher)	한국생태환경건축학회 Korea Institute of Ecological Architecture and Environment
URL	http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10523443
APA Style	조지현, 박보량, 최영재, 문진우 (2020). 데이터센터 열환경 제어를 위한 온도 예측모델 개발. 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 20(2), 114-115.
이용정보 (Accessed)	중앙대학교 165.194.26.*** 2021/05/31 18:35 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독 계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

데이터센터 열환경 제어를 위한 온도 예측모델 개발

Development of Temperature Prediction Model for Thermal Environment Control in Data Center

○ 조지현* 박보량** 최영재** 문진우***
Cho, Ji Hyeon Park, Bo Rang Choi, Young Jae Moon, Jin Woo

Abstract

This study aimed to develop a model for predicting a supply air temperature in a cooling system of the data center using Artificial Neural Network. A containment data center including cooling system was modeled on the basis of thermodynamics to obtain data for prediction model training. An initial prediction model presented 30% of Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error (Cv(RMSE)) and 0.80 of R2. After Bayesian Optimization algorithm was conducted, the structure of 2 hidden layers with 14 neurons was adopted, presenting 0.94% of Cv(RMSE). The result sufficiently accounts for the stability and accuracy of the prediction model. In further study, predictive control and adaptation algorithm will be developed using the proposed model.

키워드 : 데이터센터, 인공신경망, 베이지안 최적화

Keywords : Data Center, Artificial Neural Network, Bayesian Optimization

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 5G 및 스마트폰, 인터넷 통신 기술의 발달로 원활한 데이터 송수신 처리를 위한 데이터센터의 도입이 확대되고 있으며 세계 데이터센터 시장은 2019년 약 3억 1,400만 달러에서 2025년 약 6억 달러로 확장될 것으로 전망되고 있다. 데이터센터는 2010년 한 해 전 세계 전력 소비량의 약 1%를 차지하였으며 2030년에는 3~13%로 증가할 것으로 예측되고 있다. 이에 따라 데이터센터의 전체 전력 소비량 중 50.5%를 차지하는 냉방 에너지 절감이 필수적이다.

Choi, et al (2020).에 의하면 국내 데이터센터 냉방 시스템 관련 기존 연구는 대부분 시스템 효율 향상 및 외기 냉방시스템 개발에 집중되어 있으며 통합적 관리 측면에서의 에너지 절감 및 안정적 냉방에 관한 연구는 미비한 실정이다. 반면 국외의 경우 Fuzzy Logic, 기계학습 및 진역 최적화 알고리즘 등 우수한 예측 및 제어 효과가 인정된 Data-Driven 모델들을 데이터센터 냉방 제어에 적극 도입하는 추세로 나타났다. 다양한 머신러닝/딥러닝 알고리즘 중 인공신경망은 적응성에 따른 안정적 예측이 가능한 모델로 여러 분야의 예측제어에서 활용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 인공신경망을 활용하여 데이터센터 최적 열환경 제어를 위한 CRAH (Computer Room Air Handler) 급기온도 예측모델 개발 및 최적화를 실시하였다.

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 데이터센터 열환경을 수식적으로 모델링을 실시하였으며 데이터 마이닝 후 초기 예측모델을 개발하였다. 초기 예측모델은 2개의 데이터 전처리 방식에 따른 예측 성능검증을 통해 선정되었다. 전처리 방식으로는 표준화(Standardization, Std), 정규화(Normalization, Norm)를 사용하였다. 표준화는 데이터를 -1과 1 사이 값으로, 정규화는 0과 1 사이 값으로 변환하여 회귀 예측모

델 성능을 개선하는 것으로 일반화 되어 있다. 그러나 각각의 방법이 예측 결과의 정확도에 미치는 영향의 정도에 대해 객관적으로 정립된 기준은 없기 때문에 사용하고자 하는 입출력 데이터의 유형에 따라 적절한 전처리 방식을 선택하는 것이 중요하다. 따라서 초기 예측모델은 두 가지 전처리 방식 적용 후 각각의 예측 정확도를 확인하고 우수한 성능의 방식을 채택한다. 해당 모델에 대해 확률론에 근거한 경험적 최적화 알고리즘인 베이지안 최적화(Bayesian Optimization)를 활용하여 최종 예측모델을 개발하였다.

2. 초기 예측모델 개발

2.1 데이터센터 열환경 모델링

예측모델 개발에 필요한 데이터는 수치해석적 데이터센터 열환경 모델을 통해 취득하였다. 데이터센터 모델은 컨테이너먼트 1개, 냉동기 2개, Rack 14개, CRAH 6개로 구성하였다. 인공신경망은 Data-Driven 모델로 학습에 입력 변수로 구성된 입력데이터와 출력변수 데이터가 사용된다. 본 연구에서는 센서로 계측이 가능한 냉수 유량, CRAH 회수온도, Rack 최대 부하 6.6kW에 해당하는 부분 부하를 입력데이터로, CRAH 급기온도를 출력데이터로 설정하였다. 산출된 데이터 세트의 수는 총 2,254개며 이 중 학습 데이터(Train)로 60%를 사용하였으며 나머지 40%는 검증(Validation) 및 시험(Test) 데이터 세트로 각각 20%씩 사용하였다.

2.2 초기 예측모델 개발

본 연구에서는 전처리 방식에 따른 인공신경망 모델의 성능검증을 통해 우수한 모델을 초기 모델로 선정하였다. 초기 신경망의 구조는 뉴런(Neuron) 10개로 구성된 은닉층(Hidden Layer) 1개이며 학습 알고리즘은 안정적이고 신속한 Levenberg - Marquadt 솔버(Solver)를 사용하였다.

전처리 방식에 따른 신경망 모델의 예측 성능 결과는 표 1과 같다. 성능평가 기준은 입출력 데이터의 상관관계를 나타내는 R2와 예측값과 실제값의 차이를 파악하는 척도인 Cv(RMSE)로 분석한다. 두 전처리 방식에 따른 초기 모델 성능은 ASHRAE Guideline 14의 기준값인 R2 0.80 이상, Cv(RMSE) 30% 이하를 모두 만족하였다. 정규화 방식

* 중앙대학교 대학원 건축학과 석사과정
** 중앙대학교 대학원 건축학과 박사과정
*** 중앙대학교 건축학과 교수(교신전자 : gilerbert73@cau.ac.kr)
본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20182010600010)

학습데이터의 상관계수(R2) 값은 0.93, 검증 및 시험 데이터에 대해서는 각각 0.90, 0.89인 것으로 나타났다. 표준화 방식 학습데이터의 상관계수(R2) 값은 0.92, 검증 및 시험 데이터의 경우 각각 0.88로 나타났다. 예측 정확성의 지표인 Cv(RMSE)는 정규화를 적용한 경우 학습 오차가 14.78%, 검증 및 시험 오차는 각각 19.35%, 18.80%로 계산되었다. 표준화 방식을 적용한 인공신경망의 예측 성능은 정규화 방식의 학습, 검증 및 시험의 Cv(RMSE) 보다 0.14~1.03% 높게 나타난 14.92%, 21.12%, 20.87%로 산출되었다. 따라서 데이터 전처리는 정규화 방식을 채택하여 초기 모델의 최적화를 실시하였다.

표 1. 전처리 방식에 따른 초기 모델 예측 성능

Preprocess	R ²		
	Train	Validation	Test
Norm.	0.93	0.90	0.89
Std.	0.92	0.88	0.88
Preprocess	Cv(RMSE) [%]		
	Train	Validation	Test
Norm.	14.78	19.35	18.80
Std.	14.92	21.12	20.87

3. 예측모델의 베이지안 최적화

3.1 최적화 알고리즘 및 초 매개변수 탐색 범위 설정
 베이지안 최적화는 가우시안 과정에 기반한 추정과정을 통해 확률론적으로 초 매개변수 범위를 탐색하여 최적 초 매개변수 값을 선정한다. 과거에는 초 매개변수 값의 범위에 일정한 간격을 두어 탐색하는 그리드 서치(Grid Search)와 범위 내 임의의 값을 탐색하는 랜덤 서치(Random Search)가 주로 사용되었다. 그러나 두 탐색 알고리즘은 이전 탐색 스텝의 결과를 반영하지 않고 최적화 횟수가 목표 횟수에 도달할 경우 종료된다는 단점이 있으며 이는 최적 성능을 보장하지 않는다. 베이지안 최적화는 일정한 간격이나 임의의 난수가 아닌 확률과 경향성에 근거한 탐색과정을 통해 위와 같은 알고리즘의 단점을 보완하였다. 본 연구의 최적화 변수 범위는 은닉층당 뉴런 수를 9 ~ 20개, 은닉층은 1~5개층으로 초 매개변수 값을 설정하였다.

3.2 인공신경망 구조 최적화 결과

최적화 결과 은닉층의 수 및 뉴런 수에 대한 Cv(RMSE) 값은 표 2와 같다. 가장 우수한 성능의 모델은 은닉층 2개, 각 뉴런 수 14개를 갖는 신경망으로 학습, 검증, 시험에 대한 Cv(RMSE)가 1.0%, 3.65%, 0.94%로 산출되었다. 은닉층 3개 각 뉴런 수 13개의 신경망은 학습 0.56%, 검증 및 시험에서 각각 7.68%, 2.51%로 두 번째로 우수한 성능을 나타냈다. 반면 은닉층 1개 (뉴런 13개), 4개 (뉴런 11개), 5개 (뉴런 9개)를 갖는 신경망 모델의 경우 일반화 성능을 나타내는 시험 데이터의 Cv(RMSE)가 7.19%, 8.60%, 7.72%로 나타났다. 따라서 본 연구의 데이터센터 모델에는 비교적 얇은 신경망 구조가 적합한 것으로 분석되었다.

표 2. 베이지안 최적화에 따른 예측 결과

Hidden Layer	Neuron	Cv(RMSE) [%]		
		Train	Validation	Test
1	13	4.72	11.82	7.19
2	14	1.00	3.65	0.94
3	13	0.56	7.68	2.51
4	11	6.79	10.71	8.60
5	9	4.37	5.70	7.72

4. 결론

2010년 세계 전력 소비량 중 1%를 차지한 데이터센터는 2030년경 3~13%로 급증할 것으로 전망되고 있다. 이 중 데이터센터 내에서 가장 많은 에너지 소비량을 차지하는 냉방 에너지 절감은 그린 데이터센터 구현을 위해 필수적이다. 그러나 기존 국내 연구는 데이터센터의 에너지 절감과 안정적 열환경 제공 보다 시스템 설계 및 효율 향상에 집중되어 있다. 따라서 본 연구는 예측제어를 통한 데이터센터의 안정적 열환경 제공 및 냉방 에너지 절감을 위한 기초 연구로써 인공신경망 기반 최적 CRAH 급기온도 예측모델 개발을 실시하였다.

전처리 방식 채택 및 베이지안 최적화의 결과, 정규화 방식이 적합하였으며 최적 모델은 은닉층 수 2개와 뉴런수 각 14개를 갖는 구조의 인공신경망으로 선정되었다. 이때 기준 오차인 Cv(RMSE)는 시험 데이터 기준 0.94%로 산출되어 ASHRAE 30% 이하 기준에 만족하는 것으로 나타나 정확도 높은 예측성능을 확인하였다.

본 연구에서 개발된 예측모델을 기반으로 추후연구로 다양한 상황에서 발생할 수 있는 외란(Disturbance)에 대한 실시간 오차 보정이 가능한 적응형 학습 알고리즘 모델을 개발할 예정이다.

참고문헌

1. Research and Markets, "Data Center Colocation Market - Growth, Trends, and Forecast (2020 - 2025)", <https://www.businesswire.com/news/home/20200525005100/en/Global-Data-Center-Colocation-Market-2020-2025>, 2020.09.16.
2. 최영재 외 3인, 컨테이너먼트형 데이터센터 최적 제어 알고리즘을 위한 열환경 예측모델 개발, 한국생태건축학회 논문집
3. 냉난방공조 신재생 녹색건축 전문저널 Kharn, "데이터센터 냉각 트렌드" <https://www.kharn.kr/news/article.html?no=9902>, 2020.09.16. // (Korea Heating Air-conditioning Refrigerations & renewable energy news, "Trends of Data Center Cooling System", <https://www.kharn.kr/news/article.html?no=9902>, 2020.09.16.)
4. Swigler K., Applying Nerual Networks, academic press, San Diego, CA., 1991.
5. J. J. Moré, The Levenberg-Marquardt algorithm: implementation and theory, In Numerical analysis (pp. 105-116), Springer, Berlin, Heidelberg, 1978.
6. ASHRAE Guideline 14, Measurement of Energy and Demand Savings, 2002.
7. 윤상용 외 4인. 베이지안 최적화 기반 능동 학습을 통한 효율적 유기 분자 탐색, 한국정보과학회 학술발표논문집, pp.772-774, 2015.06.