전자 회로 설계를 위한 PCB 부품 자동 배치 시스템

최성우*12, 이충용1

¹ 연세대학교 전기전자공학부, ² 럭스로보

e-mail: 1120woo@yonsei.ac.kr, cylee@yonsei.ac.kr

Automated PCB Component Placement System for Efficient Electronic Circuit Design

Seongwoo Choi¹² and Chungyong Lee¹

¹ Department of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei Univ, ² LUXROBO Co., Ltd.

Abstract

In recent years, the demand for PCB(Printed Circuit Board) production has surged due to the expansion of coding education and the maker movement. However, the complex process of component placement remains a barrier, especially for non-experts. This study proposes an automated PCB component placement system with an LLM(Large Language Model) -based module for key components like sensors and ICs (Integrated Circuits), and an RL(Reinforcement Learning)based module for passive components such as resistors and capacitors. By optimizing placement based on electrical properties and routing efficiency, the system enables efficient highquality PCB designs for users of all experience levels.

I. 서론

최근 몇 년간 전자 기기와 관련된 교육과 기술의 보급이 확산되면서, 다양한 연령대에서 전자 회로 설계 및 제작에 관심을 가지는 사람들이 급증하고 있다. 특히, 코딩 교육의 일반화와 메이커 운동의 활성화로 인해, 고등학생, 학부생, 비전공자를 포함한 개인 또는소규모 팀 단위에서 PCB(Printed Circuit Board)를설계하고 제작하려는 수요가 증가하고 있다. 이에 따라, 전통적으로 고도의 전문 지식과 경험이 요구되던

PCB 제작 과정의 진입 장벽을 낮추어 PCB를 쉽게 제작할 수 있는 시스템의 필요성이 대두된다. [1,2,3].

PCB 제작 과정 중에서 가장 복잡하고 시간이 소요되는 단계 중 하나는 전자 부품들의 배치 과정이다. 특히, 부품의 수와 복잡도가 증가함에 따라 이 과정은 수작업으로 처리하기가 어려워지며, 배치 효율에 따라이후 배선 작업의 난도와 최종 제품의 성능, 신뢰성이크게 달라질 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 자동화된 부품 배치 시스템이 요구되며, 이는 설계자의 시간절약 뿐 아니라 PCB의 전기적 성능과 생산성 향상에기여할 수 있다. [4].

본 연구에서는 LLM(Large Language Model) 기반의 주요 부품 목적 맞춤형 배치 모듈과 RL(Reinforcement Learning)기반의 보조 부품에 대한 자동 배치 모듈을 개발하여, PCB 제작에서의 진입 장벽을 낮추는 자동화 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 부품들의 전기적 특성 및 배선 경로 최적화를 고려하여 자동으로 배치함으로써, 사용자의 경험 수준에 관계없이 높은 수준의 PCB 설계를 가능하게 한다.

II. 본론

2.1 시스템의 구성

PCB에서 배치가 이뤄지는 전자 부품은 제품 동작에 기능을 담당하는 주요 부품과 보조 부품으로 나뉠 수 있다. 본 연구의 PCB 부품 자동 배치 시스템은 부품의 특성에 따라 그림 1과 같은 두 모듈로 구성된다.

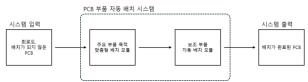


그림 1. PCB 부품 자동 배치 시스템

시스템의 입력은 배치를 진행할 PCB의 회로도와 배치가 진행되지 않은 상태의 PCB를 입력 받는다. 이후, 주요 부품 목적 맞춤형 배치 모듈은 모터, 센서, 스위치 등의 PCB의 동작 기능을 주로 담당하는 주요 부품들의 배치를 진행하며, 보조 부품 자동 배치모듈은 저항, 콘덴서, 인덕터 등과 같은 기능을 담당하지 않는 보조 부품들을 배치한다.

시스템의 출력은 입력한 시스템의 PCB 보드에 모든 부품이 배치된 것으로 한다.

2.2 주요 부품 목적 맞춤형 배치 모듈

본 모델이 배치를 담당하는 주요 부품은 센서 IC, 모터, LED, 스위치, 커넥터, USB 단자 등 PCB 보드에서 입출력을 담당하는 부품들이 주로 해당한다. 따라서 주요 부품들의 배치 위치는 해당 부품의 기능, 동작 방식, 크기 및 전체 PCB의 목적에 따라 결정된다. 해당 배치 문제는 한 PCB에서 다양한 종류의 주요 부품의 조합 및 각 주요 부품의 개수에 따라 다양한 배치 상황이 발행한다. LLM은 최소한의 전문 데이터를 기반으로 다양한 배치 전략을 생성하고 사용자에게 이해하기 쉬운 레이아웃을 제공하여다양한 PCB 배치 문제를 해결하도록 한다.

LLM 모델[5].의 입출력은 그림 2와 같이 PCB의 주요 부품들의 배치를 그려내는 Plot을 생성하는 파이썬 코드형태로 변환한 형태이다.

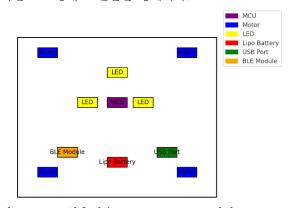


그림 2. LLM 입출력용 PCB 보드 Plot 예시 1

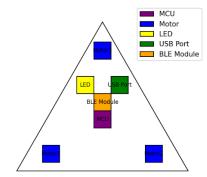


그림 3. LLM 입출력용 PCB 보드 Plot 예시 2

위 그림2와 그림3은 다양한 조합의 부품으로 RC카를 목적으로 하는 PCB의 배치를 Plot으로 나타낸 예시이다. 각각 바퀴(모터) 4개짜리의 사각형 형태의 RC카와 바퀴(모터)3개짜리의 삼각형 형태의 RC카를 의미한다.

2.3 보조 부품 자동 배치 모듈

저항, 콘덴서, 인덕터, 트랜지스터, 크리스탈 등의 보조 부품들은 기능 보다는 배선의 효율성을 고려하여 배치된다. 따라서 보조 부품 자동 배치 모듈은 높은 배선 효율을 주 목적으로 설계되었다.

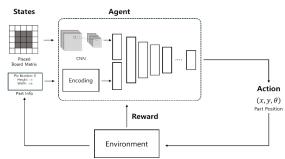


그림 4. 보조 부품 자동 배치 모듈 구조

보조 부품 자동 배치 모듈은 그림 4과 같은 구조의 강화학습 모델을 구성하였다. Agent의 State는 2가지이다. 현재 상태의 보드를 Matrix로 제작하여 Agent의 CNN(Convolutional Neural Network)부의 입력으로 처리하였다. Matrix에는 보드 상, 현재 부품의 배치가 불가능한 영역, Net 정보를 포함한 Pad의 위치 정보, 외곽선 정보 등이 포함되어 있다. 두번째 state는 배치를 진행할 부품의 정보로 크기, 패드의 개수, Net의 종류 등의 정보를 포함한다.

입력 받은 State에 대하여 Agent는 현재 부품이 배치될 좌표 및 회전 값을 Action으로 반화하다.

PCB 배선에서 배선의 효율성은 총 배선의 길이, 배선의 Via의 개수, 배선의 성공률 등으로 평가된다. 본 모듈은 위 평가 요소들을 고려하여 아래 세가지 요소의 Weighted Sum으로 Reward를 구성한다.

- 가. Shortest Net Length: 현 부품의 모든 Pad에 대하여 동일한 Net을 공유하는 가장 가까운 Pad들까지의 거리의 합이다. 동일 Net을 공유하는 Pad들 간의 거리를 좁혀 라우팅 난도를 낮추도록 유도한다.
- 나. Total AirWire Length: Prim's Algorithm을 사용하여 계산한 현 부품의 같은 Net을 공유하는 Pad들 간의 전체 거리의 최소 값이다. 전체 Routing 길이를 줄이도록 유도한다.
- 다. Parenet Part Distance: 회로도(Schematic) 상의 Logical하게 연결된 부품까지의 거리이다. 디커플링 콘덴서, 풀다운 저항 등의 전기적 특성을 고려하여 배치하도록 유도한다.

Ⅲ. 구현

3.1 LLM 기반 주요 부품 목적 맞춤형 배치 모듈 본 LLM의 안정적인 결과 생성을 위하여 아래와 같은 규칙들을 적용하였다.

가. 생성한 보드의 윤곽선은 닫힌 도형의 형태여야 한다.

나. 출력의 배치된 부품들은 입력한 부품과 종류와 수량, 크기가 정확히 일치해야 한다.

다. 모든 부품의 배치는 보드의 윤곽선 내부에 위치하여야 하고 서로 겹침이 없어야 한다.

라. 모든 부품의 배치는 각각의 특징과 실제 사용을 고려하여 배치되어야 한다.

3.2 보조 부품 자동 배치 모듈

본 모듈의 Environment는 부품들의 겹침 방지계산의 용이와 효율적 보드 정보 전달을 위해 그림 5와 같이 PCB 보드를 Matrix로 구성하여 전달한다.

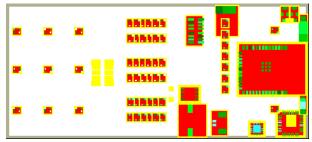


그림 5. Placed Board Matrix 이미지 예시

본 모듈에서 높은 배선 성공률과 효율을 위하여 다음과 같은 기법들을 적용하였다.

가. Weighted Distance: 적은 Via 개수의 생성을 위해 Reward 계산 시, 패드간 거리를 계산하는 함수에서
 Pad의
 Layer가
 서로
 다를
 경우,
 일정
 크기의

 Weight를
 부여하여
 같은
 Net을
 공유하는
 Pad들이

 최대한
 같은
 Layer에
 배치되도록
 유도하였다.

나. IC Margin: MCU와 같이 많은 핀들이 배선이 되어 배선의 밀집도가 높은 IC 종류는 핀 주변에 배선을 위한 많은 공간이 필요하다. 따라서 IC 부품들에 대해서는 Net의 밀집도를 고려한 Margin을 계산하여부여하였다.

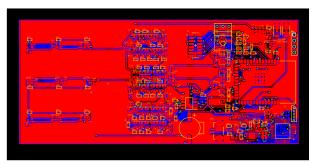


그림 6. 최종 배치 및 라우팅 결과 예시

그림 6는 본 시스템을 사용하여 음성 인식 조명 스위치라는 프로젝트의 배치를 진행하고, 최종 라우팅까지 진행한 모습이다. 라우팅 성공률은 100%이며, RLC들이 간격에 맞추어 배치되는 등 실제 사용자들의 배치와 비슷한 특성을 보이는 것을 확인하였다.

IV. 결론

PCB 제작 과정에서 전자 부품의 배치는 부품의 전기적 특성과 이후 배선을 할 때의 경로를 고려하여 진행되어야 한다. 본 연구에서는 LLM을 통한 주요 부품들의 배치를 통하여 부품의 전기적 특성과 사용목적에 따른 배치를 자동화하였고, 보조 부품 자동배치 알고리즘을 통하여 효율적 배선 경로 및 짧은배선 경로를 고려한 배치를 자동으로 진행하는 알고리즘을 구현하였다.

Acknowledgement

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.RS-2024-00460834, PCB 개발을 자동화하여 MCU에 포팅되는 인공지능 전자 기판설계 모델 개발 및 검증 시뮬레이터 개발)

참고문헌

- [1] L. Menxhiqi and G. Marinova, "AI in PCB Design: Insights from a Focused Case Study," 2024 International Conference on Broadband Communications for Next Generation Networks and Multimedia Applications (CoBCom), Graz, Austria, 2024, pp. 1–5.
- [2] DeepPCB, "Pure AI-Powered, Cloud-Native PCB Routing," [Online]. Available: https://deeppcb.ai/.
- [3] CELUS, "Welcome to the home of the CELUS Design Platform," [Online]. Available: https://www.celus.io/.
- [4] P. Sathyaraj, S. Arulkumar, A. Ajina, K. Beshir, L. Umasankar and A. N. Arularasan, "AI-Optimized Placement and Routing for PCB Design," 2024 Ninth International Conference on Science Technology Engineering and Mathematics (ICONSTEM), Chennai, India, 2024, pp. 1-6,.
- [5] OpenAI, "GPT-4 Technical Report," 2023. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2303.08774.