

〈논 문〉 SAE NO. 933767

자동차 전장용 에이전트 기반 시스템 연구

A Study on Concurrent Engineering Methodology
for Automobile Wiring Harness Design System.

이 수 홍,* 최 두 선*
S. H. Lee, D. S. Choi

ABSTRACT

Design and production of wiring for automobile systems provide the background for the development of concurrent engineering framework. Key issues include with different parts of the wiring design process and the development of hierarchical representations that capture the different characteristics(e.g., connectivity, geometry) of the harnesses. The abstraction of design information results in features, while the abstraction of operations leads to the development of agents. These abstracts are essential for efficient transactions among people and computer tools in a domain that involves numerous interacting constraints. We have decomposed the wiring design process into four basic categories of tasks that are each addressed by an "agent" : the Environment Editor(EE), the Free Space Manager(FSM), the Wiring Editor(WE), and the Part Selector(PS). In this paper the strategy for the problem decomposition, the definition of features, and the ways in which features are used by various agents, are discussed. We conclude with a discussion of some of the issues raised by the project and the steps underway to address them.

주요기술용어 : Concurrent Engineering(동시공학), Agent(에이전트), Wiring Harness(전장설계), Feature(특징형상), Connectivity(연결성), Configuration(배열), Bundle(번들)

1. 서 론

최근 산업현장 기술자나 컴퓨터 관련 연구업무에 종사하는 연구원들에 의해 컴퓨터를 이용한 동시공학(또는 병행 엔지니어링, Concurrent Engineering)에 관한 집중적인 연구가 되고 있으며 현재 몇개의 시스템[Cutkosky and Tenenbaum 1991, Sriram *et. al.* 1989]이 시제품으로

개발되었다. 이것은 종전의 시스템이 정보의 생성과 분산개념에 바탕을 둔 블랙보드(Blackboard) 시스템 구성방식[Nii 1986b, Nii 1986a, Hayes-Roth 1985]인 반면 최근에는 분산된 여러가지 문제를 동시에 해결하고자 하는 에이전트 기반(Agent-based)시스템[Shoham 1991, Sycara 1989, Lander *et al.* 1989]으로 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 시스템에 사용된 에이전트들의

* 한국 기계 연구원 CAD/CAM 실

상대적인 자율성(Autonomy)과 유연성(Flexibility)은 관련 업무에 종사하는 기술자나 연구자들에 의해서 요구되는 여러 문제점들을 잘 수용할 수 있는 것처럼 보인다. 그러나 이러한 접근 방법에도 불구하고 동시공학을 이용할 때의 어려움점으로 문제를 분류하고, 추상화하며, 정립된 개념들을 정확하게 표현 정의하는 것 등이 있다. 본 논문에서는 이러한 동시공학 시스템의 개념을 이용한 자동차의 전장 시스템 개발이 조립공정과 초기 개념 설계를 효과적으로 지원해 줄 수 있도록 개발되고 있음을 기술하고자 한다. 먼저 2장에서는 전장 시스템의 설계 영역을 정의하고 동시공학적인 면에서 다루어야 할 문제점들을 제시한다. 3장에서는 설계영역의 형상을 정의하고 4장에서는 이러한 형상들이 개념 정립 단계에서 어떻게 사용되어지는 가를 다루며, 아울러 시스템을 구성하는 각각의 에이전트에 대하여 간략하게 설명하였다. 마지막장에서는 본 논문의 요약과 앞으로의 연구방향에 관하여 논의하였다.

2. 설계 영역

자동차회사의 관리자들은 동시공학에 의한 전장 설계와 조립을 생각하게 되었다. 전장 설계는 현장에서 수십년동안 설계에 요구되는 사항과 제한조건들을 정립해 놓고 있으며 또한 전장 설계는 전기와 기계의 개념을 동시에 포함하고 이러한 두가지 개념을 하나로 만들어 보자는 개념

으로 발전되었다. 전장 설계에 있어서 반드시 고려해야 할 사항은 하니스(Harness)의 배열(Configuration)과 기하학적 형상(Geometry) 그리고 전기적 연결성(Electrical Connectivity)등에 중점을 두어야 한다.(그림 4 참조) 뿐만 아니라 전장 설계는 일반적으로 2차원 상에서 이루어 지는 것이 아니라 광범위한 3차원 공간상에서 이루어 진다는 점도 고려하여야 한다. 마지막으로 전장 설계에 있어서 설계요소들을 동시에 결정하는 문제접근 방식은 하니스의 기하학적인 요소와 질량이나 가격등을 결정하는데 많은 도움을 주며 이는 전장 설계의 경제적인 측면에서 상당한 이익을 준다.

2.1 문제 전개

Fig.1은 자동차에 사용되는 일반적인 와이어링 하니스를 보여주고 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 전장 설계가 겉으로 보기에 약간 기계적이고 평범하게 보일지 모르지만 설계 과정의 이면을 살펴보면 생각이외로 복잡한 설계 문제임을 알 수 있다. 전장은 다양한 크기와 종류가 있으며 조합된 신호를 전송하기도 하고 특정한 전자부품과 이에 대응하는 서브 파트와의 사이에 전력을 공급하기도 한다. 와이어링의 설계요구 조건은 각 전장 세그먼트에 포함되어야 할 와이어(WIRE)의 수를 결정하며 사실 이것이 전장의 굵힘곡률과 질량분포를 결정한다. 또한 전장은 공간상에 다양한 종류의 클램프에 의해 고정되며

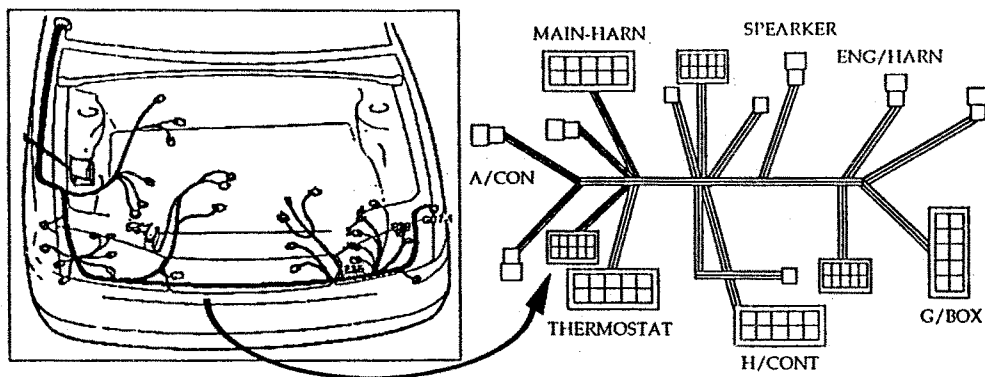


Fig. 1 Typical wiring components used for automobiles.

결국 클램프의 위치에 따라 와이어링의 경로가 결정된다. 와이어링이 높은 온도 영역과 같은 특별한 지역을 통과할 때에는 전장을 보호하기 위한 단열처리를 해야 하며 주위 환경에 따라 여러 설계 제한조건들이 첨가되기도 한다. 전기 전자장치를 수리하거나 불필요하다고 생각되어 제거해야 할 경우를 대비해 마련해 둔 여유공간은 결국 사용할 수 있는 자유공간의 크기를 줄이게 된다. 구부리기 쉬운 장애물들은 대개 확장될 수 있는 자유공간을 확보해 주기도 한다. 또한 인체 공학적인 측면의 고려 사항도 전장 설계에 영향을 미친다. 예를 들어 전장의 유지 보수를 위해 기술자가 전기 전자 장치로 부터 와이어링을 쉽게 분리, 재조립 할 수 있도록 여유 공간을 확보해야 하는 것 등이다. 또한 각 와이어링 세그먼트에 포함되는 와이어 하니스의 무게와 질량분포도 생산단계에 직접적으로 영향을 미치므로 이것 또한 항상 중요하게 고려해야 할 사항이다.

Fig.2에서 보여진 것과 같이 전장 설계는 설계요소들의 유기적인 상호관계를 피할 수 없다. 이러한 유기적인 상호관계는 상대적으로 전장

설계과정을 불안정하게 만든다. 왜냐하면 특정 설계 변수의 미미한 수정에도 곧바로 전체 설계를 수정해야 하는 결과를 낳기 때문이다. 이와 같이 전장 설계는 많은 시간을 소비하는 반복적인 작업이며 매우 지루한 작업이다. 이러한 문제는 설계과정에서 최적의 설계요소들을 결정하는 와이어링 하니스의 취약성때문에 더욱 복잡해진다. 한편 와이어링의 유연성은 와이어링의 제한조건과 공간상의 제약조건을 만족시켜 주는 다양한 경로를 가능하게 하므로 전장 설계의 마지막 단계에서 결정되는 것이 일반적이다. 다시 말해 전장 설계는 자동차내의 기하학적인 형상에 영향을 미치는 대부분의 설계요소를 고려한 후 결정되므로 항상 설계의 수정과 변경이 요구된다. 한 예로 전기 전자 부품을 5cm 이동하는 것과 같이 미미한 설계변경에도 이미 설계 완료된 와이어링의 경로에 방해가 된다면 전체적인 전장 설계를 다시 해야 하는 경우가 이에 해당된다 하겠다. 자동차의 개발 초기부터 시작되어 다른 어떤 부분보다 설계 수정의 1차 대상인 전장 설계에 있어서 이와 같은 반복적인 설계변경은

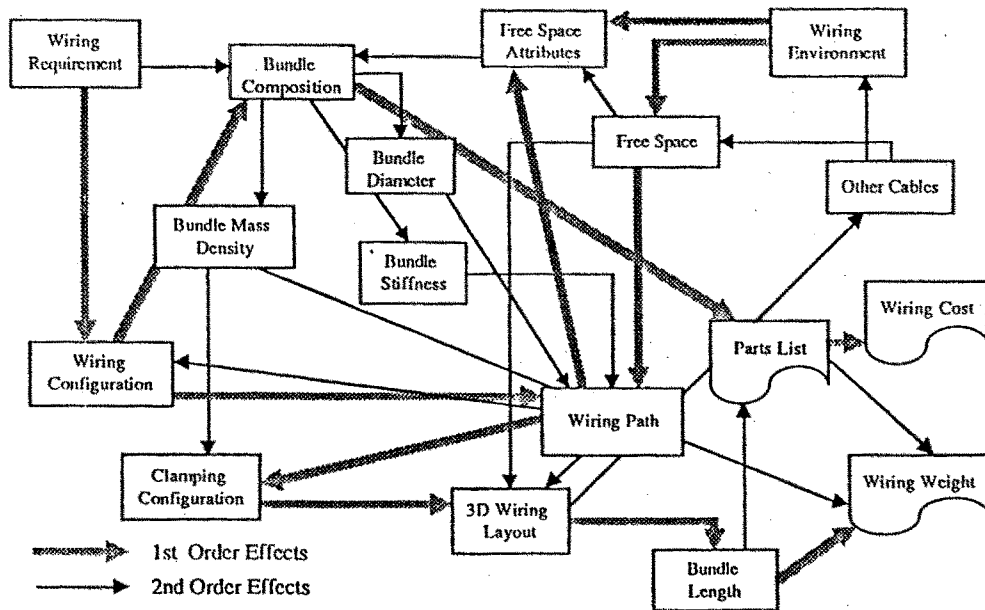


Fig. 2 Tasks within the wiring harness design process are highly interdependent. Maintaining consistency is difficult for human designers.

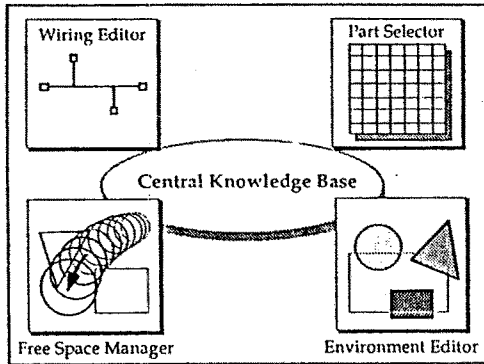


Fig.3 Four agents of wiring harness design system that resulted from the problem decomposition analysis : Wiring Editor, Part Selector, Environment Editor, Free Space Manager.

매우 일반적인 사항이다. 이러한 설계변경은 장비나 부품등을 첨가하거나 재조정하여 광범위하게 와이어링을 재조정해야 하는 신모델 자동차 개발 시에 더욱 두드러지는 현상이다.

위에서 논의한 바와같이 전장 설계에 있어서 컴퓨터를 이용한 동시공학적 개념 도입이 최적의 설계과정과 설계요소를 결정하는데 매우 유용하다. 현재에는 개발기간의 단축과 대기시간을 줄이고, 많은 시간과 비용이 소요되는 반복 설계과정 혹은 비효율적인 설계부분을 개선하는 방향으로 확대 발전되어 가고 있다. 그러므로 컴퓨터 도구의 가장 중요한 역할은 공정설계자가 설계과정의 각 부분을 자동화하여 기계적인 순서로 작업속도를 높이는 것이 아니라 설계요소의 유기적인 상호 관계와 독립성을 확립하고 설계요소들 사이에서 발생하는 문제점들을 해결하도록 하는 데 있다 하겠다.

전장 시스템 개발의 목적은 앞서 언급한 것과 같이 여러 전문분야에서 동시공학의 역할을 수행하기 위한 방식으로 컴퓨터 지원방식을 개발하는 데 있다. 또한 전장 시스템을 개발하는데 있어서 사용된 프로그래밍 방법과 시스템 구성방식은 앞서 개발된 미사일용 케이블 디자인 시스템[Park et al. 1992, 1993]을 참고 하였다.

2.2 문제 분석

소형 연구 프로젝트의 경우 대개 2, 3명의 연구인력으로 순차적인 순서로 연구목적을 달성하는 반면, 중·대형 연구과제는 수십개의 연구조직과 수백명의 연구인력이 투입되어 필요에 따라서 분할달성(Divide-and-Conquer) 방식으로 연구목적이 달성된다. 분할달성 연구방식의 궁극적인 목적은 개발시간을 줄이며 연구에 관련된 정보를 잘 활용함은 물론 각 연구그룹들이 관련 정보의 유용성을 빨리 결정 내리도록 하는 데에 있다. 그룹의 조직과 각 연구그룹들의 연구목적을 분산하는 것은 개발기간을 줄이며 개발 비용도 절약할 수 있고 개발결과에 성능에 까지 많은 영향을 미친다. 이와 같이 전장 컴퓨터에서 정의된 각각의 에이전트들은 전장 설계 문제에서 유추된 특성뿐 아니라 하니스 설계과정에서의 인원조직의 필요성등도 고려된 후 구성된다. 주요 고려 사항은 부분적인 지식의 병렬처리 능력; 설계의 정밀도를 향상시키기 위한 선견(Provision); 공통적인 자원과 데이터 공유; 실행자(Activities)들 사이의 교환 정보 줄임; 사용자에 대한 시스템의 친밀성을 높이기 위한 GUI 개발 등이다. 일반적으로 전장 설계문제는 아래와 같은 5가지 주요 작업으로 나눌 수 있다.

- 자동차 내부 환경의 모델링과 조작
- 자유공간의 정의와 경로 생성
- 와이어링 배열(Configuration)의 생성과 취급
- 서브-파트들의(Sub-Part) 선택
- 설계결과의 평가와 비교

전장 설계 시스템내에서의 이러한 작업은 부분별 특성화를 보조하는 여러 공정(Operation)들과 특성화에 따른 전문 베이스로 구성된 에이전트와 사용자와의 유기적 상호작용을 위한 편집기에 의해 지원된다. 먼저 환경편집기(Environment Editor)는 와이어링 환경을 구성하는 각 엔티티의 기하학적인 특성을 전달하거나 취급한다. 자유 공간 관리기(Free Space Manager)는 와이어링 환경내에서 와이어링 세그먼트의 경로를 결정하며 와이어링 편집기(Wiring Editor)는

와이어링 조건과 기하학적인 제한조건 뿐만 아니라 설계상 고려해야 하는 여러 제한조건들을 기준으로 와이어링을 배열(Configuration)하거나 관리한다. 부품 선택자(Part Selector)는 각 하니스의 재료표(Bill-Material)을 만들며 이를 정비한다.(Fig.3 참조)

3. 전장 시스템내의 설계표현

설계자들은 개발기간 동안에 설계문제의 또 다른면에 초점을 맞추기 위해 여러단계의 추상적인 개념을 사용한다. 컴퓨터를 이용한 설계 시스템에서의 특징 형상(Feature)은 추상적인 설계개념을 설명하는데 있어 매우 중요한 메카니즘이다. 전장 설계영역에서 유용한 특징 형상을 결정하기 위해서는 전장 시스템의 3가지 기본적인 특성을 알아야 한다. Fig.4에서 이러한 기본적인 3가지 특성을 보여주고 있는데 그 3가지 특성은 와이어링의 연결성(Connectivity)과 배열(Configuration) 그리고 와이어링 하니스의 기하학적 형상(Geometry)이다. 이와 같이 와이어링 하니스의 특성을 구분하는 것은 기존의 설계 시스템[Cutkosky 1990]에서 참고하였으며 와이어링 하니스 문제의 최적의 해는 이 세가지 특성 조건을 동시에 만족할 때 얻어진다.

- 와이어링 하니스의 연결성(Connectivity)은 와이어링 하니스에 있어서 가장 중요한 기능이다. 연결성의 조건들은 와이어링 테이블에 나타내며 와이어링 테이블의 각열(Column)에는 하나의 와이어에 대하여 시점 콘넥터와 핀, 종점 콘넥터와 핀, 와이어의 종류와 선택 사양 유무 및 색깔등을 나타낸다. 하나의 와이어링에는 수백개의 와이어를 포함 할 수도 있다.
- 와이어링 하니스의 배열(Configuration)은 와이어링 하니스 조립품의 구성요소들 사이의 배치와 상관 관계를 구체적으로 나타낸다. 와이어링 하니스를 그림으로 나타낼 경우 와이어링 하니스 배열(Configuration)은 모든 와이어가 일직선을 유지한 상태에서 콘넥터들 간의 상관 관계 및 각 콘넥터에 속한

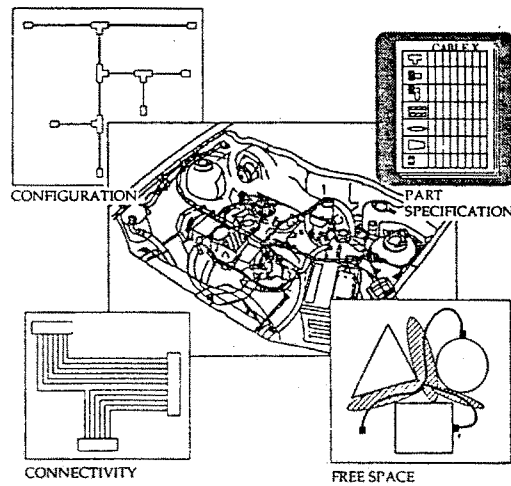


Fig. 4 The wiring design problem contains 3 primary aspects : connectivity, configuration, and geometry.

와이어들과 와이어들의 분포 상황을 보여준다. 각 와이어들은 정리되어 하나의 번들(Bundle)로 분류하고 장선(Junction)에서 분리되며 터미널 노드에서 연결된다. 최종적으로 와이어를 통합하는 데에는 와이어링의 시점과 종점 사이의 근접거리와 유용한 공간, 클램핑의 위치, 와이어링의 가격과 질량을 포함한 많은 점들이 고려된 후 와이어링 하니스 배열(Configuration)이 결정된다.(Fig. 9 참조) 일반적으로 대부분의 와이어링 하니스 배열(Configuration)은 일대일의 연결성을 갖는다. 각 번들에 있는 와이어수의 변경과 이에 따른 와이어링의 질량 및 최소 굽힘 반경의 변화가 대표적인 와이어링 하니스 배열(Configuration)에서의 변경 사항들이다.

- 마지막으로 와이어링 하니스의 기하학적 형상(Geometry)은 와이어링이 존재할 수 있는 공간과 그 공간을 지나는 와이어링의 경로를 정의하며 아울러 와이어링이나 다른 부품들을 설치하거나 제거하는데 필요한 공간도 정의한다. 와이어링 하니스 배열(Configuration)이 주어진 와이어링 설계 명세서 범위 내에서 가능하듯이, 와이어링 하니스의 경로

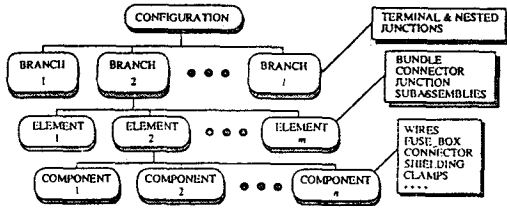


Fig. 5 Hierarchy of features in wiring harness design.

또한 주어진 와이어링 하니스 배열(Configuration)과 자유공간내에서 가능하다.

3.1 전장 설계의 형상

앞에서 논의한 것을 기초하여 전장 설계의 특징 형상들을 정의할 수 있다.

- 와이어링 설계에 있어서 가장 중요한 부품은 번들(Bundle)이다. 번들은 와이어들의 묶음을 나타낸다. 와이어링 하니스의 연결성과 배열(Configuration) 그리고 외형적형상의 관점에서 번들은 와이어 리스트나 공간에서의 굽힘 등을 검증 받을 수 있다. 번들의 주요 특성들은 번들 직경, 굽힘 곡률, 최소 굽힘 반경, 절량 등이다. 이러한 번들의 특성에 따라 와이어링의 최종경로가 결정된다.
- 장선(Junction)은 번들의 분리와 삽입을 가능하게 해준다. 장선의 특이점은 장선을 중심으로 와이어들 사이에 EXCLUSIVE-OR 관계가 항상 성립된다.(Fig6 참조)
- 콘넥터는 전기 전자 장치와 번들을 연결시켜 주는 부품이다. 또한 와이어들의 종착점을 표시하며 공간상에서 인접한 번들의 위치와 오리엔테이션을 나타낸다.
- 자유공간은 물리적인 요소들이 점유한 공간을 제외한 나머지 영역을 표시한다. 자유공간을 부분적으로 나누면 공간 사용이 보다 유용하며 공간상의 와이어링의 밀도를 제어 하는데 사용되어 진다. 자유 공간 형상내의 각영역들은 높은 진동영역과 고온영역, 유지 보수 공간영역등을 특별히 분류한다. 또한 자유공간은 힌지나 충격 흡수장치 그외 다른

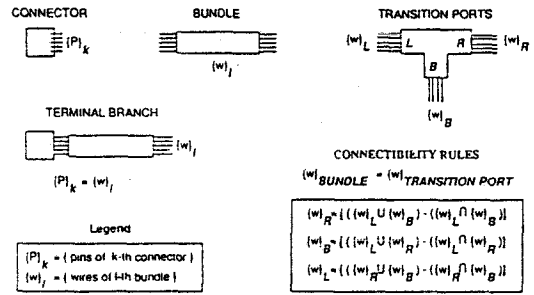


Fig. 6 Wiring elements follow simple rules to propagate the connectivity constraints. These rules are invoked during SWAP-BUNDLE and MOVE-BRANCH operations.

용도로 사용된 와이어링과 같이 이동하거나 움직이기 쉬운 장애물들이 차지하는 영역도 특별히 분류한다.

- 와이어링 하니스의 경로는 자유공간을 통과 하는 와이어링 하니스의 곡선과 곡선의 조합들이다. 초기에 와이어링 하니스의 경로는 콘넥터들간의 와이어링곡선의 집합이었다. 이것은 와이어링 세그먼트의 공간상 위치를 나타내 주며 와이어링 주위의 자유 공간 크기는 나타내지 못한다. 와이어링 하니스의 경로가 와이어링 세그먼트의 센터 라인축과 일치한다면 설계 제한조건을 잘 만족한 것이 되는 셈이다.

4. 전장 설계 시스템의 전장 작업과 기능

컴퓨터가 다루어야 할 데이터들을 효율적으로 처리하기 위해 특징형상이 대두된 것과 같이 전장 설계를 위한 여러 작업의 체계화와 각 작업의 기능상 분류의 효율화를 위해 에이전트들 정의 하기에 이른다. 본 장에서는 전장 설계를 위한 여러 작업의 체계화와 각 작업의 기능상 분류의 효율화를 위해 어떠한 에이전트들이 필요한 지를 기술하고자 한다.

와이어링 하니스의 작업은 전장내에 이미 정의된 여러 특징형상들을(예 : 배열, 커넥터, 장선 등) 수정하고 다듬거나, 제거, 혹은 변형시키는

작업이 대부분이다. 이러한 작업들을 기능별로 체계화, 등급화 하는 것이 전장 설계에 필요한 데이터들을 효율적으로 처리하는 데에 매우 유용하다. 변수들이나 정의된 전장 객체의 속성 값을 조작하는 설계 작업은 등급화, 체계화 측면에서 볼 때 가장 저급 수준에 속한다. 예를 들어 장선 객체에서 와이어링 하니스의 재배열이 완료되었을 때 각 포트(PORT, 장선에 번들이 붙을 시 이 접촉 부분을 포트라 한다.)에 붙어있는 번들 객체의 이름을 바꾸어 주는 작업이 있다. 바꾸는 것 자체도 전장 설계에 필요한 작업이지만 이와 같은 단순 작업을 자동으로 해주는 고차원의 설계 작업(예 : SWAP-BUNDLE, MOVE-BRANCH 등)을 제공한다면 숙련자의 작업능률에 버금가는 시스템을 만들 수 있는 것이다. 그러나 이와같은 기능만을 갖춘 시스템으로는 시스템 내의 모듈 간의 유기적인 상호 의사전달 능력과 설계 환경의 변화를 인식하여 대처하지 못하는 결점이 있다. 그러므로 모듈간의 유기적 상호작용의 요소들을 시스템 모듈에 첨가할 수만 있으면 고차원의 추상 개념의 기능을 가진 에이전트를 얻을 수 있다. 따라서 전장 시스템내의 에이전트들은 시스템이 정의한 틀 안에서 유사 작업을 반복 수행하고 이웃 에이전트들과의 상호 협력 아래 전장 설계를 이루어 나가는 하나의 요소인 것이다. 다음은 와이어링 하니스 영역내에서 각 에이전트가 필요로 하는 기능을 나열하였다.

- 에이전트의 출력과 기능의 인식능력
- 외부정보의 수요판단능력
- 오류정보 판단 능력
- 제한 조건들에 관한 설계평가 능력
- 주석, 설계사양, 제한조건 위반등의 기록능력
- 프레임 워크내에서 설계 모델이나 지식기반 컴퓨터도구등과 같은 공유 지식 베이스와 유틸리티의 사용능력

이와 같은 정의들은 소프트웨어 모듈이나 편집기를 통한 사용자와의 대화에 똑같이 적용된다. 무엇보다도 중요한 것은 각 에이전트들이 주어진 시스템안에서 상호 정보를 교환하는 다른 에이전트와 전문 영역은 다르나 기능이나 형태는 크게

다르지 않다는 것이다. 어떤 에이전트는 2개의 대표적인 요소로 구성되어 있다. 하나는 프레임 워크에 의해서 제한되지 않는 에이전트 자체 지식 베이스(Local Knowledge)와 자체 기능 및 작업을 포함하는 부분이고 다른 하나는 프레임 워크에 의해서 정의되고 실행되는 표준화된 통신 규약을 만족하도록 하는 상호 작용 메카니즘부분이다.

4.1 전장 설계 시스템 환경

이장에서는 현재 전장 설계 시스템을 구성하고 있는 4개의 에이전트 기능에 대하여 설명하고자 한다. 그러나 4개의 에이전트중 어느 것도 앞절에서 논의한 유기적 상호관계성을 완전히 나타내지 못하고 있다. 그러나 현재 와이어링 편집기, 부품 선택자, 환경 편집기, 자유공간 관리자등은 어느 정도 기본적인 성능을 제공하며 특히 와이어링 편집기는 에이전트들 중에서 가장 발달되어 다음에 상세히 논의되었다.

4.1.1 와이어링 편집기

와이어링 편집기는 설계자에게 주어진 와이어링 테이블을 만족하는 여러 종류의 와이어링 배열(Configuration)을 생성하고 각 배열(Configuration)을 구성하는 번들의 상세 정보를 자동 생성시킨다. 예를 들어 번들내의 와이어 수와 와이어 수에 의한 번들의 지름, 허용 굽힘 곡률들을 배열(Configuration)이 변형될 때마다 계산하여 사용자에게 전달한다. 특히 앞서 언급한 전장 특징 형상중의 하나인 장선을 중심으로, 연결되어 지는 모든 번들 사이에 EXCLUSIVE-OR 관계를 만족 시켜야 한다. Fig.7의 (a)에서 장선 J1을 살펴보자. 번들 1, 2, 3은 와이어링 테이블에서 주어지므로 이미 정해져 있지만 번들 4는 어떤 번들이 장선 J1에 붙느냐에 따라 결정된다. 번들 1, 2, 3에 주어진 와이어에 따라 EXCLUSIVE-OR관계에 의해 번들 4의 와이어가 {3, 4, 5, 7}로 정해짐을 알 수 있다. 이외에도 번들의 와이어 수를 결정할 때 실제 생산상에 고려된 제약 조건을 항상 검색한다. 예를 들어 각 번들의 최대 지름은 어떤 값 이상을 가질수 없는 것 등이 이에 해당된다. 즉 번들내의 와이어 수가 제약을 받는 것이다. 위반시에는 설계자에게 알려주어 설계

진행중에 어떠한 제약 조건이 위배되었는 지를 항상 나타내 준다.

여러종류의 배열(Configuration)을 만들어 시험하여 보는 능력은 와이어링 하니스의 설계에 있어서 매우 중요하다. 그러나 연관된 제한 조건을 만족하면서 설계변수를 수정하는 작업은 매우 지루한 작업이다. 와이어링 편집기의 가장 중요한 기능중의 하나는 바로 이러한 작업을 자동으로 하는 것이다. 와이어링 편집기는 기존의 와이어링 배열(Configuration)이 없으면 자동적으로 연결성의 제한 조건을 만족하는 스플라인

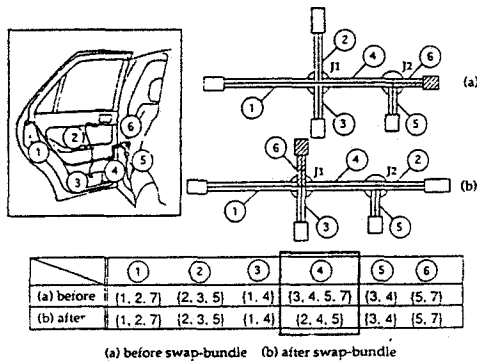


Fig.7. For a given connectivity requirement, the wiring composition can change for each trans-bundle during SWAP-BUNDLE operations.

Wires in trans-bundle "4" has been changed from {3, 4, 5, 7} to {2, 4, 5}; i.e., a diameter of bundle "4" is reduced.

배열(Configuration)로써 구성된다. 연결성의 제한조건은 각 와이어의 시점 콘넥터와 핀 그리고 종점 콘넥터와 핀, 와이어의 종류, 선택사양의 유무, 와이어 색깔등을 포함하고 있는 와이어링 테이블에서 주어진다. 이와 같이 새로운 배열(Configuration)로 하니스를 변경하는 데에는 SWAP-BUNDLE과 MOVE-BRANCH라는 두가지 방법이 있다. SWAP-BUNDLE에 의한 방법은 선택된 두개의 번들을 서로 교환 하는 것으로 Fig.7에 잘 나타나 있다. Fig.7의 (a)는 SWAP-BUNDLE 이전의 상태이고 그림 7의 (b)는 SWAP-BUNDLE 이후의 상태이다. 여기서 주목할 것은 앞서 언급했듯이 번들 4의 와이어 수가 {3, 4, 5, 7}에서 {2, 4, 5}로 변화되었음이다. 다시 말해 번들의 직경이 줄어들게 되었다. MOVE-BRANCH에 의한 방법은 선택된 장선의 분기를 통째로 다른 번들의 중간에 끼는 방식이다. 역시 이 과정 중에도 앞서 언급한 번들 내의 와이어 수 및 제약 조건 등을 만족하는지의 여부를 검색하며 공정을 진행시킨다. 그림 8은 하니스 내에서의 MOVE-BRANCH 효과에 대하여 잘 나타내고 있다. MOVE-BRANCH와 SWAP-BUNDLE 작업을 통해 볼 때, 와이어링 하니스는 이전 배열에 대한 상대적인 위치나 오리엔테이션으로 주어지는 번들, 전이, 종점 콘넥터로 조립된 나무구조로 비유됨을 알 수 있다. 그림 8에 있는 연결면 A와 장선 Ta는 화살표가 지적하는 데로 나무의 뿌리에 해당된다. MOVE-BRANCH

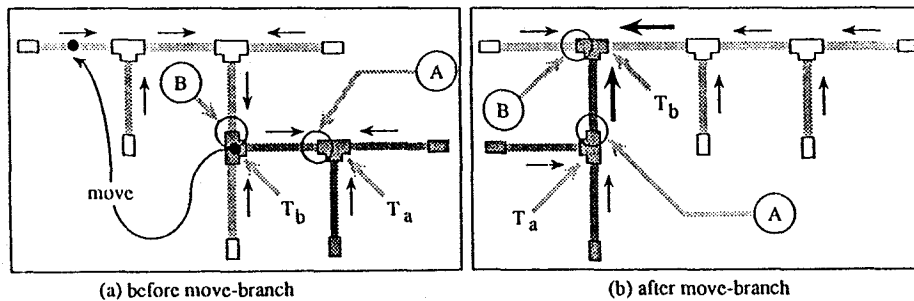


Fig.8 An example of MOVE-BRANCH operation. Arrows represent the directions for propagating location information for contiguous elements. "A" and "B" denote connection faces on junction elements Ta and Tb.

작업은 하니스를 장선에서 분리하고 3개의 서브 어셈블리로 절단한다. 이러한 MOVE-BRANCH 작업에 의해 각 요소의 기하학적 위치 정보는 다시 계산되어지며 자동적으로 터미널노드는 이동된 장선의 기초가 된다. 그림 8에서 보듯이 장선 Tb에 대해 다시 계산되어진다. 장선을 이동한 후 연결면 B는 새로운 하니스 배열의 기초가 되는지의 여부를 조사하여 각 번들의 방향성을 재조정한다. 굵은 화살표시는 MOVE-BRANCH 작업으로 인해 장선 Tb에 인접한 번들의 방향성이 바뀌었음을 표시한다.

대표적인 와이어링 편집기의 SWAP-BUNDLE과 MOVE-BRANCH 기능은 시스템구성의 기능적 추상화의 효율성을 설명해주고 있다. 설계자에게 이와같은 교환 작업은 직관적으로 하니스 배열(Configuration)을 변경하기 위한 고차원의 작업인 것이다. 그러나 만약 수작업으로 이러한 작업을 시행한다면 와이어의 추적이나 번들 직경과 곡률 반경등과 같은 제한 조건등을 검색하는 등의 작업이 매우 지루한 작업이다. 이러한 기능과 변경 사항이나 제한조건의 위반 사항들을 기록하여 자동 처리함으로써 와이어링 편집기는 설계자에게 실제적으로 와이어링 하니스의 기하학적인 변경이나 생산원가를 근거로 한 와이어링의 배열(Configuration)을 자유자재로 바꾸어 보는 작업을 가능하게 해 준다. 이와 같은 접근방식을 본 전장 시스템에 많이 사용하였으며 사실 이것이 에이전트의 목적이다. 모든 와이어링 설계문제를 한개의 큰 문제로 자동화를 피하기 보다는 계층적 표현과 에이전트를 이용하여 설계자들에게 저급의 상세 정보를 알려 줌이 없이 자동 처리해 주고 전반적인 유연성과 최적화에 초점을 맞추면서 설계 전반적인 문제를 고차원의 추상적인 개념수준에서 일하도록 하게 함이 에이전트-기반 시스템의 가장 큰 장점이 되는 것이다.

이외에도 와이어링 편집기의 주요 다른 기능들은 아래와 같다.

- 콘넥터간의 전압 강하 검색.
- 번들 길이의 변경
- 선택 사양에 따른 와이어의 자동 선별

- 장선들의 조합 가능
- 선택된 와이어의 추적 등.

Fig.9와 10은 와이어링 편집기의 주요 작업 후의 SCREEN-DUMP 결과를 보여준다. 앞서 언급한 SWAP-BUNDLE 및 MOVE-BRANCH 작업등을 통한 여러 형태의 배열(Configuration)을 거친 후의 결과들을 나타내고 있다.

다음은 전장시스템에 사용된 와이어링 편집기 이외의 에이전트들에 대한 간략한 설명이다.

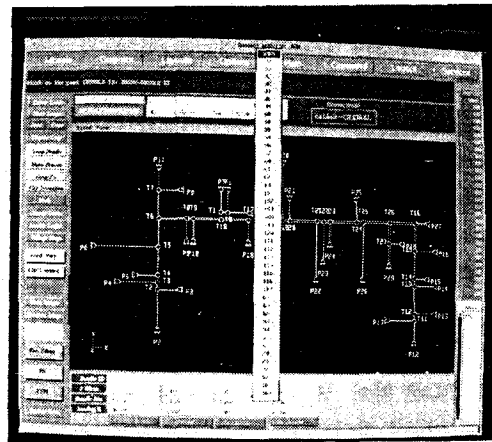


Fig.9 A screendump of Wiring-Editor after several SWAP-BUNDLE and MOVE-BRANCH operations. System pops-up a list of wires for a selected bundle.

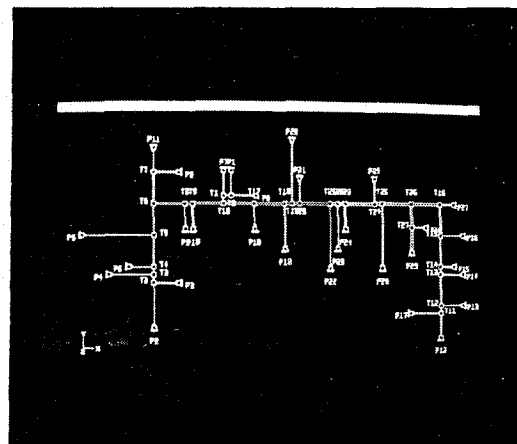


Fig.10 A selected wire is highlighted.

4.1.2 부품 선택자

부품선택자는 와이어링의 부품 리스트를 생성하기 위하여 와이어링 편집기에서 제공하는 배열(Configuration)을 사용하며 무게나 재료비와 같은 부품의 성질이나 부품수를 포함하는 완전한 라이브러리를 관리한다. 룰(Rule) 베이스는 와이어링 편집기에서 선택된 와이어링 배열(Configuration)에 대한 부품 선택을 자동으로 할 수 있는 기본 법칙을 제공한다. 예를 들어 자유 공간 관리자가 기하학적 제한조건을 적용하지 않아 와이어링 세그먼트의 길이를 이용할 수 없다면 부품 선택자는 데이터가 갱신될 때까지 기본 길이를 사용한다. 부품선택자는 또한 사용자나 에이전트가 자동부품 선택을 무시하거나 수정하고자 할 때 이를 허용하며 필요시 생산과정에 필요한 주석(Note)을 다는 등의 편의도 제공한다.

4.1.3 환경 편집기

환경 편집기의 주요 기능은 자동차 내부 환경의 기하학적 엔티티들을 생성관리 하는 것이다. 이 기하학적 엔티티들은 와이어링을 설치 할 때 방해물 혹은 와이어링이 부착될 위치를 나타내는데, 많은 기하학적인 정보들은 외부 CAD 시스템으로부터 생성된다. 사용자는 가급적 특정 CAD 시스템에 의존하는 것이 아니라 독립적으로 기하학적 데이터를 선택하여 처리 하는 것이 바람직하다. 현재 환경 편집기에서는 기하학적 데이터를 CAD 시스템간에 호환 포맷인 IGES 형태로 교환하나 향후 차세대 CAD 호환 포맷인 PDES/STEP 형태로 교환될 것이다. CAD 시스템에서 전송된 기하학적인 데이터를 환경 편집기는 Convex-Polyhedra나 Bounding-Box 형태의 단순 3차원 형태로 전환하여 데이터양을 줄여 사용자가 쉽게 처리할 수 있도록 돕는다. 세부적으로 여러단계의 기하학적인 정보를 표현할 수도 있는 데 이는 자유공간 영역을 좀더 정확하게 계산할 필요가 있을 경우 유용하게 사용될 수 있다. 환경 편집기의 또 다른 기능은 외부 CAD 시스템에서의 설계 변경사항에 대하여 자동적으로 환경 모델을 갱신시켜 주는 데 이러한 기능들은 향후 첨가될 예정이다.

4.1.4 자유 공간 관리기

자유 공간 관리기는 가장 많은 컴퓨터 계산이 요구되는 에이전트이다. 주요 기능은 와이어링 루트를 위한 자유 공간을 생성하는 것이며 앞서 언급했듯이 진동이나 과열, 유지 보수 관리를 위한 여유공간등 특별히 주의를 요하는 영역을 구분하는 일이다. 자유 공간이 선택되면 자유 공간 관리기는 와이어링 편집기에서 결정된 와이어링 배열(Configuration)을 기본으로 와이어링의 구체적인 경로와 경로들의 집합을 결정한다. 최근 경로 계획분야에서 제안된 여러 알고리즘을 시험하고 있는 중이다.[Breuer 1972, Latombe 1991, Kong 1989]

4.2 시스템 작업 환경

본 논문에서 소개하고자 하는 시스템은 객체지향 COMMON-LISP 프로그램 환경인 CONCEPT-MODELER라는 전문가 셸위에 구축되었는데, CONCEPT-MODELER는 미국 오하이오주 페페 파이크에 위치한 WISDOM사에서 지난 1986년에 개발한 프로그램이다. 시스템은 SUN SPARC2상의 32M-RAM H/W위에 LUCID COMMON LISP, UNIX, SHAPES 등과 같은 S/W를 가지고 구축되었다. 솔리드 모델링으로 쓰이는 SHAPES는 SOX사에서 개발한 솔리드 모델링 시스템으로 4차원 객체 표현이 가능하고 ATTRIBUTE INTERITANCE 기능이 있다. CONCEPT-MODELER와 CAD 인터페이스를 위해 다른 여러 솔리드 모델링이 고려 되었으나 전장의 실제 패스를 정하는 스프라인 및 NURBS 기능과 객체지향 환경에서 정의된 특징형상들과 CAD 모델 내의 기하학적 ENTITY와 일대일 매핑이 잘 이루어져 있으므로 최종적으로 전장 시스템의 CAD 모듈로 SHAPES가 선택되었다. 동시 공학을 이용한 시스템의 일반적인 구성은 기존의 CAD/CAM 시스템과 객체지향형 프로그램 환경인 전문가셸로 구성되는데 전문가셸과 CAD/CAM 시스템과의 인터페이스가 시스템 구성의 가장 큰 난제로 알려져 있다. 최근에는 이러한 문제점의 해결 방안으로 CAD를 내장한 전문가셸이 등장하여 동시 공학 시스템 구성이 한결 용이해졌다.

5. 요약

본 논문에서는 전장 설계와 조립에 관한 데이터 및 작업의 추상화와 문제해석에 관해 연구하였다. 전장 설계 시스템을 통해서 복잡한 설계문제를 다루기 위한 시스템내의 에이전트와 설계자 사이의 상호 작용하는 방법들을 개발하고 형식화하는 방법을 찾았다. 또한 전장 설계내의 특징 형상과 설계 과정에 필요한 여러 공정의 계층적 구조를 정의하였다. 초기 버전이기 하지만 앞서 언급된 4개의 에이전트가 구성되어 설계자가 와이어링 하니스의 연결성과 배열(Configuration) 그리고 기하학적인 형상에 대한 제한조건을 부분적으로 만족시키며 와이어링 하니스를 구성하고 수정할 수 있다. 향후 연구 개발의 방향은 보다 효율적인 전장 시스템의 기능을 위해 다음의 몇 가지를 고려하여 시스템이 구성되어야 하겠다. 첫째 점진적으로 수정해 가는 설계마무리 작업이 복잡한 설계 문제의 필수 불가결한 부분이어서 설계자에게 도움을 주도록 시스템이 제한조건을 벗어나는 일없이 이러한 조건들을 신속히 만족하도록 구성되어야 하겠다. 두번째 원칙은 각 에이전트들이 완성된 기하학적인 형태가 유효 적절하지 못하면 개념 설계 단계에서 다시 초기화할 수 있도록 설계되어야 함이다. 특징 형상과 설계 과정에 필요한 여러 공정과 기능의 계층적 구조는 이러한 두가지 원칙을 가능하게끔 해준다.

참 고 문 헌

1. 이수홍, "설계의 병행 엔지니어링(Concurrent Engineering)기법 (I)", 기계와 재료, Vol.5, No.1, pp.107-124, May, 1993.
2. Breuer, M. A. 1972, *Design Automation of Digital Systems*, Englewood Cliffs, N. Y., Prentice-Hall, Chapter 6.
3. Cutkosky, M. R., and Tenenbaum, J. M., "A Methodology and Computational Framework for Concurrent Product and Process Design", *Mechanism and Machine Theory*, Vol.25, pp.365-381, April 1990.
4. Hayes-Roth, B. 1985, A Blackboard architecture for control. *Artificial Intelligence* 26 : pp.251-321
5. Kambhampati, Subbarao, Lee, Soo-Hong, Cutkosky, Mark and Tenenbaum, Marty, "Combining Specialized Reasoning and General Purpose Planners : A Case Study," *Proceedings in 9th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-91)*, pp.199-205, Anaheim, CA, July 1991.
6. Kong, T. Y. 1989. Digital topology : Introduction and survey, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 48 : pp.357-393
7. Lander, S. E. ; Lesser, V. R. ; and Connell, M. E. 1989. Knowledge-based conflict resolution for cooperation among expert agents. In *Computer-Aided Cooperative Product Development*. Springer-Verlag, pp.258-268
8. Latombe, J. C. 1991. *Robot Motion Planning*. Kluwer Academic Publishers.
9. Lee, Soo-Hong, Cutkosky, Mark and Kambhampati, Subbarao, "Incremental & Interactive Geometric Reasoning for Fixture and Process Planning," *Issues in Design/Manufacture Integration* 1991, pp.7-13, ASME Winter Annual Meeting, Atlanta, Georgia, December 1991.
10. Mayer, A. K. and Lu, S. C-Y 1988. An AI-based approach for the integration of multiple sources of knowledge to aid engineering design. *J. of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design* 110 : pp.316-323.
11. Nii, H. P. 1986a *Blackboard systems : Blackboard application systems, blackboard systems from a knowledge engineering perspective*, *The AI Magazine* pp.82-106.
12. Nii, H. P. 1986b *Blackboard systems : The blackboard model of problem solving and the evolution of blackboard architectures*. *The AI Magazine* pp.38-53.
13. Park, Hisup, Andrew B. Conru, Cutkosky, Mark, and Lee, Soo-Hong, "An Agent-Based

- Approach to Concurrent Cable Harness Design," *CDR Tech Report 19930217*, Center for Design Research, Stanford Univ., Feb. 1993.
14. Park, Hisup, Lee, Soo-Hong and Cutkosky, Mark, "Computational Support for Concurrent Engineering of Cable Harnesses," *Proceedings of the 1992 ASME International Computers in Engineering Conference*, August 1992, San Francisco, CA, pp.261-268.
 15. Shoham, Y. 1991, Agent0: A simple agent language and its interpreter. In *Proceedings Ninth National Conference on Artificial Intelligence*, IEEE, pp.704-709.
 16. Sriram, D.; Logcher, R.; Wong, A.; and Ahmed, S. 1989. An object-oriented framework for collective engineering design. In *Computer-Aided Cooperative Product Development*. Springer-Verlag, pp.51-92.
 17. Stefanelli, R. and Rosenfeld, A. 1971. Some parallel thinning algorithms for digital pictures. *J. of the Association for Computing Machinery* 18(2); pp.255-264
 18. Sycara, K. P. 1989. Cooperative negotiation in concurrent engineering design. In *Computer-Aided Cooperative Product Development*. Springer-Verlag, pp.269-297.