

엘리베이터의 효과적인 분산 제어를 위한 시스템 모델링

이명언, 정수영*, 권욱현*, 최규하**

서일대학 전력설비자동화과, *서울대학교 전기공학부, **건국대학교 전기공학과

System Modeling for Effective Distributed Control of Elevator

M.U. Lee, *S.Y. Jung, *W.H. Kwon, and **G.H. Choe

Seoil College, *Seoul National University, **KonKuk University

ABSTRACT

고층빌딩에서는 여러 대의 엘리베이터를 두어 이러한 이동의 요구를 만족시키게 된다. 여러 대의 엘리베이터를 둔 시스템에서는 한 대의 엘리베이터만 있는 시스템에서와 달리 여러 층에서의 이동요구를 효과적으로 여러 대의 엘리베이터에 분산해서 할당해 주는 기능이 필요하게 된다. 본 논문에서는 여러 대의 엘리베이터들을 보다 효과적으로 이용하여 승객의 대기 시간을 줄이기 위한 군 제어 방법의 연구를 위한 군 제어 시스템을 수학적으로 모델링 하였다.

1. 서 론

빌딩들의 고층화 및 빌딩내의 보다 신속한 이동이 요구됨에 따라 효과적인 수직 이동 수단인 엘리베이터의 중요성이 증가되고 있다. 여러 대의 엘리베이터를 둔 빌딩에서는 한대의 엘리베이터만 존재하는 빌딩과는 달리 상호 분산해서 인구의 할당 및 제어의 필요성이 있다 이러한 기능을 하기 위해서 여러 대의 엘리베이터를 제어하는 것을 엘리베이터 군제어기라고 하며 여러 대의 엘리베이터와 군제어기로 이루어진 시스템을 엘리베이터 군 제어 시스템이라고 한다. 여기서 엘리베이터는 차로, 엘리베이터를 통한 이동하는 사람들을 승객이라고 부른다.

군 제어 문제는 기본적으로 차들의 상태와 승객의 요구에 따라 각 차를 어떤 승객의 요구에 할당하는가는 문제로 요약할 수 있다. 여기에서 차들의 상태라는 것은 각 차의 움직임과 각자의 위치 등으로 나타낼 수 있고 승객의 요구는 각 층에서의 올라감 또는 내려감 요구와 차안에서의 가고자 하는 층의 요구로 나타내어진다. 또한 군 제어 시스템을 구성하는 엘리베이터들은 단일 엘리베이터 시스템

의 동작에서 요구되는 사항을 만족해야 한다.

군 제어 시스템에서 군제어기가 만족하도록 설계되어야 하는 제어 목적에는 여러 가지가 있는데, 승객의 대기 시간을 최소화하기, 차의 일주 시간을 최소화하기, 전체적인 차들의 에너지 소비를 최소화하기 등을 들 수 있다. 이 중에서 승객의 대기 시간을 최소화가 군 제어 시스템의 가장 중요한 제어 목적이라고 할 수 있다^[1-3].

이와 같은 군제어의 문제는 여러 가지 제어 목적에 의해 주어진 성능 지수를 최적화 하는 것으로 볼 수 있으며 이러한 측면에서 다중 목적 최적화문제라고 볼 수 있다.

현재 대부분의 엘리베이터 제조 회사는 군 제어에 퍼지 로직 기반 군 제어 방식을 사용한다. 승강장요구가 있을 때마다 적절한 규칙이 If-then 규칙에 의해 선택된다. 또한 교통 패턴의 판별도도 퍼지 규칙을 통하여 이루어진다. 퍼지 규칙을 엘리베이터 군 제어 적용한 이유는 군 제어 목적의 다양성, 엘리베이터 시스템의 불확실성, 엘리베이터 시스템의 비선형성 때문이다. 이러한 군 제어 목적의 다양성에는 아래와 같은 것이 있다^[4-6].

- 장기 대기자들의 최소화
- 승객의 평균 대기시간 최소화
- 탑승률의 평균화
- 승객의 평균 서비스 시간 최소화
- 에너지 소비 감소
- 과중 교통량에서 전체 그룹의 가동률 최대화
- 도착 예정 차의 즉시 예보

또한 엘리베이터 시스템의 불확실성과 비선형성, 외란에는 아래와 같은 것이 있다.

- 새로운 승강장, 승강대 호출이 어느 층에서 등록될지 모른다.
- 현재 대기 중인 승객의 목적 층을 모른다.
- 만 차의 경우 승강장 호출을 무시하고 내려감

- 엘리베이터는 자주 예측과 달리 중간에서 방향을 바꿀 수 있다.
- 승객의 잘못된 승강장, 승강대 호출
- 승객이 차문을 열림으로 유지하는 경우 차의 지연을 야기한다.

퍼지 규칙을 사용한 제어기의 특징은 숙련가가 제어의 룰을 결정하고 이러한 규칙은 설치 시에 고정된다. 숙련된 기술자의 경험적 지식을 바탕으로 제어기는 엘리베이터의 불확실성과 비선형성 등을 잘 관리할 수 있다. 퍼지 규칙을 사용한 제어기의 단점은 아래와 같다^[7-8].

- 숙련가가 가정한 엘리베이터 시스템의 환경과 실제의 엘리베이터의 환경의 차이
- 시스템의 성능은 숙련가의 기술에 의존
- 퍼지 멤버십 기능의 조절이 어려움으로 많은 시뮬레이션 필요
- 새로운 규칙을 개발하여 변형하기에 많은 노력이 필요

본 논문은 엘리베이터의 분산 제어 시스템을 수학적으로 모델링 하여 이 모델을 기반으로 미리 정의된 제어 목적 하에서 보다 안정되고 향상된 성능을 보이는 제어 알고리즘을 설계하는 것을 목적으로 한다.

2. 본 론

2.1 분산 제어 시스템의 상태 정보

엘리베이터 시스템을 정확히 모델링하기 위해서는 무엇보다 시스템의 상태정보를 알아야한다. 상태 정보란 현재의 시스템의 상태를 묘사함으로써 다음 시스템의 동작을 예측할 수 있는 데이터를 말한다.

표 1 엘리베이터 시스템의 상태 정보
Table 1 State Information of Elevator System

항목	기호	관측성	의미
현재 층수	car(i).floor	o	차의 위치
움직임 및 방향	car(i).dir	o	차의 방향
차내부 요구 집합	car(i).cc-set	o	현재의 차내부요구
승강장 요구집합	car(i).hc-set	o	차에 할당된 승강장 요구
문의 상태	car(i).door	o	문의 열림/닫힘
중량초과	car(i).load	o	승객수 초과
차의 속도	car(i).vel	o	승강기 속도
차의 가속도	car(i).acc	o	승강기 가속도

상태 정보는 시스템의 동작의 예측에 필요한 데이터만을 의미하고 다른 정보는 포함하지 않아야 한다. 또한 상태 정보는 일반적으로 관측 가능한 것과 관측 가능하지 않은 것으로 분류할 수 있는데 상태 정보 중에서 관측이 가능한 데이터만이 실제의 상태 정보로 사용된다. 일반적으로 엘리베이터 시스템의 상태 정보와 그 가관측성 여부는 아래의 표1과 같다. 현재의 층수는 1층에서 최고층까지의 값을 가질 수 있으며 층과 층 사이에 있는 경우는 소수점자리로 표현할 수 있다. 승강기의 움직임의 방향은 UP-MOVING, DOWN-MOVING, UP-STOP, DOWN-STOP, IDLE 5가지로 정해진다. UP-MOVING과 DOWN-MOVING은 각각 차가 위 혹은 아래로 움직이고 있는 상태를 가리키며 이때의 속도와 가속도는 각각 car(i).vel과 car(i).acc를 가리키게 된다.

관측 가능한 정보들을 모아 차 i의 상태 정보를 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_i = (F_i, R_i, C_i, H_i, L_i, V_i) \quad (1)$$

여기서 F_i 는 i번째 차의 현재 층수, R_i 는 차의 방향, C_i 는 차 내부 요구 집합, H_i 는 승강장 요구의 집합, L_i 는 승객의 부하 정도, V_i 는 다음 멈춤 가능 층이다.

2.2 이벤트그래프를 이용한 단일 엘리베이터 동작 모델

단일 엘리베이터의 동작은 이산 현상 시스템의 일종으로 볼 수 있다. 이산 현상 시스템의 모델에는 여러 가지가 있지만^[9-10]본 논문에서는 이벤트 그래프에 의한 모델 방식을 사용한다.

표 2 엘리베이터 동작에 있어서의 이벤트 리스트
Table 2 Event List of Elevator Operation

이벤트 항목	의미
STOP	멈춤
UP-STOP	올라가던 중 잠시 멈춤
UP-MOVING	올라감
UP-DOOROPEN	올라가던 중 문 열림
UP-DOORCLOSE	올라가던 중 문 닫힘
DN-STOP	내려가던 중 잠시 멈춤
DN-MOVING	내려감
DN-DOOROPEN	내려가던 중 문 열림
DN-DOORCLOSE	내려가던 중 문 닫힘

이벤트 그래프 모델링 방식은 이산 현상 시스템을 그래픽하게 묘사하면서 모델링하기 때문에 모델링의 가독성을 높여주고 모델링의 검증을 쉽게 한다. 이벤트 그래프 모델링에 의한 엘리베이터 모델에서는 표2와 같은 이벤트가 존재한다.

위 이벤트와 관련하여 동작을 표시하기 위해서 부가적인 시스템의 상태 정보와 사양 정보가 필요한데 이것은 아래와 같다.

- MAXF: 최대 층
- MINF: 최소 층
- c.fr: 차의 현재 층
- Q_h : 차의 할당된 승강장 요구의 큐
- CC: 차 내부 요구 집합

이것을 집합으로 나타내면 다음과 같다.

$$Q_h = H_F \cup H_S \cup H_T \quad (2)$$

여기서 H_F 는 첫 번째 경로 집단, H_S 는 두 번째 경로 집단, H_T 는 세 번째 경로 집단을 각각 의미한다. CC는 승강장 요구의 승객에 의해 발생된다.

2.3 차의 동작과 Q_h 및 CC의 모델 적용 예제

3층을 경유하며 위로 움직이고 있는 차에 승강장 요구 및 차 내부 요구가 할당되었다고 하자. 즉 2층, 7층, 9층에서 상향 승강장 요구가 발생하였고 3층, 7층에서 하향 승강장 요구가 발생하였다고 가정하고 5층, 10층의 차 내부 요구가 등록되어 있다고 하자. 이 때 Q_h 및 CC는 어떻게 정해지는가? 그리고 차의 움직임에 따라서 Q_h 을 구성하는 각각의 경로 집단들은 어떻게 변화하는가?

여기에 대해서 생각해보면 먼저 Q_h 을 이루는 H_F, H_S, H_T 는 각각 다음과 같이 결정된다.

$$H_F = \{7, 9\}, H_S = \{7, 3\}, H_T = \{2\} \quad (3)$$

또한 CC는 다음과 같다.

$$CC = \{5, 10\} \quad (4)$$

이 차가 상향 방향의 승강장 요구 및 차 내부 요구들을 모두 서비스하여 움직임의 방향을 바꾸는 순간, H_F 는 H_S 의 승강장 요구들로 채워지고 H_S 는 H_T 로 채워지게 되며 H_T 는 공집합이 된다.

이벤트는 시스템의 상태정보에 의해 조건이 만족되는 다른 이벤트로 천이한다. 이때 천이가 소비되

는 시간은 각 이벤트에 따라 달리 주어진다. 그리고 천이가 발생하면 시스템의 정보가 갱신된다. 각각의 천이지연시간은 아래와 같은 이벤트들 사이에 존재한다.

$$- t_{ff}: UP(DN) - STOP \rightarrow UP(DN) - STOP \quad (5)$$

$$- t_{DO}: UP(DN) - STOP \rightarrow UP(DN) - DOOROPEN \quad (6)$$

$$- t_{DC}: UP(DN) - DOOROPEN \rightarrow UP(DN) - DOORCLOSE \quad (7)$$

2.4 오보율

오보는 실제의 대기 시간과 예측 대기 시간의 차이에 의해서 생긴다. 즉, 어떤 승강장 요구에 대해서는 예측 대기 시간이 가장 짧은 엘리베이터에 어떤 승강장 요구가 할당이 되었을 때, 그 엘리베이터가 그 승강장에 도달하는데 여러 가지 이유에서 지연이 발생하여 그 엘리베이터 이외의 다른 엘리베이터가 그 승강장에 먼저 도착하여 서비스를 하게 되는 것이다. 오보율을 계산하기 위해서 실제의 대기 시간과 예측 대기 시간과의 관계는 다음과 같다. 어떤 시점에 발생한 승강장 요구에 대해 할당된 엘리베이터 i 의 예측 대기시간을 w_i 라고 하고 실제 대기시간을 x_i 라고 하면 $x_i = w_i + \alpha_i$ 로 그 관계를 표시할 수 있다. 여기서 α_i 는 할당된 엘리베이터가 승강장에 도착하면서 겪는 지연 시간을 나타내는 불규칙 변수이며 교통 요구의 패턴에 따라 다양한 확률분포를 이룬다. 또한 α_i 는 예측 대기 시간의 산출 방식에도 영향을 받는데 예측 대기 시간의 산출에서 현재의 교통 요구 패턴을 얼마나 고려되었고 엘리베이터의 멈춤 및 주행과 관련된 시간 특성이 반영되었는지에 영향을 받는다는 것이다. 만약 군 제어 시스템에 두 대의 엘리베이터만 있고 각각의 예측 및 실제 대기 시간의 관계가 다음 식과 같이 표현된다고 하면,

$$x_1 = w_1 + \alpha_1, x_2 = w_2 + \alpha_2 \quad (8)$$

오보가 일어나는 경우는 $w_1 > w_2$ 일 때 $x_1 < x_2$ 가 된다. 따라서 아래와 같은 식을 유도할 수 있다.

$$x_1 < x_2 \rightarrow w_1 + \alpha_1 < w_2 + \alpha_2 \rightarrow w_1 - w_2 < \alpha_2 - \alpha_1 \quad (9)$$

만약 대기 시간의 예측치의 오차가 정규분포를 이룬다

면 오보율은 $P_r\{z > w_1 - w_2\}$ 이고 여기서 z 는 평균이 0이고 분산이 $\sigma_{\alpha_1}^2 + \sigma_{\alpha_2}^2$ 이므로 표준 정규분포표를 이용하여 구한다.

위의 관계에서 엘리베이터 두 대에서의 오보의 확률은 예측 대기 시간의 차이가 짧을수록 더 커진다고 하겠다. 위의 오보율은 엘리베이터가 두 대가 있을 경우이고 여러 대가 있을 때에는 예측 대기 시간이 가장 작은 두 대의 엘리베이터를 선택하여 위와 같은 방법으로 오보율을 구하면 어느 정도 근사한 값이 될 것이다.

3. 결 론

본 논문은 엘리베이터의 분산 제어 시스템을 수학적으로 모델링 하여 이 모델을 기반으로 미리 정의된 제어 목적 하에서 보다 안정되고 향상된 성능을 보이는 제어 알고리즘을 설계하는 것을 목적으로 한다. 또한 군 제어 시스템의 평가항목으로 오보율을 고려하여 성능지표로 활용할 수 있는지를 분석하였다.

참 고 문 헌

- [1] A.T.P. So and S.K. Liu, "An Overall Review of Advanced Elevator Technologies", *Elevator World*, pp. 99-103, June, 1996.
- [2] J.W.Fortune, "Mega High-Rise Elevators", *Elevator World*, pp. 64-69, July 1995.
- [3] G.R.Strakosch, Vertical Transportation : Elevator and Escalators, *John Wiley & Sons*, Feb, 1983.
- [4] W.L Chan and A.T.P. So, "Dynamic Zoning in Elevator Traffic Control", *Elevator Technology 6, IAEE*, pp. 132-140, 1995.
- [5] A.T.P So and W.L. Chan, "Comprehensive Dynamic Zoning Algorithms", *Elevator World*, pp. 99-109, September 1997.
- [6] M. Amano, M.Yamazaki, and H. Ikejima, "The Latest Elevator Group Supervisory Control System", *Elevator Technology 6, IAEE*, pp. 88-95, 1995.
- [7] C.G.Cassandras, "Discrete Event Systems: Modeling and Performance Analysis", *IRWIN*, 1993
- [8] A.H. Buss, "Modeling with Event Graphs", *IEEE Press*, 1998
- [9] G.K.H. Pang, "Elevator Scheduling System Using Blackboard Architecture", *IEE Proceeding*, Vol. 138, No. 4, pp. 337-346, 1991
- [10] B. Hayes-Roth, "A Blackboard Architecture for Control", *IEEE Artificial Intelligence*, Vol. 26, pp. 251-321, 1985.