

# 커넥티드 기반 자율주행차 환경에서 동적 군집그룹 제어 방안

## Dynamic grouping scheme for platooning in automated connected vehicle systems

정영욱\*

Young-uk Chung\*

### Abstract

Platooning of vehicles is an efficient traffic management model that improves traffic flow and fuel consumption. Especially, it is necessary to reduce computational load and networking overhead in automated connected vehicle systems. Because it is important to maintain the size of the platoon group appropriately for efficient platoon operation, this study proposed a dynamic grouping scheme for platooning in an automated vehicle system. The proposed scheme is analyzed by a mathematical model based on Markov chain. From the performance evaluation, it was confirmed that the proposed scheme appropriately controls the size of the platoon group.

### 요약

군집주행은 교통흐름을 개선하고 연료소비와 환경개선 효과도 얻을 수 있는 효율적인 교통운영모델이다. 특히 커넥티드 기반의 자율주행차 시스템에서는 중앙 시스템의 계산량과 네트워크 트래픽을 크게 줄여줄 수 있어 도입이 필수적이다. 효율적인 군집주행 운영을 위해서는 군집그룹의 규모를 적절하게 유지하는 것이 중요하기 때문에, 본 연구에서는 동적으로 군집 그룹 규모를 제어하는 방안을 제안하였다. 제안한 방안은 마코프 체인에 기반한 수학적 모델에 의해 분석되었다. 성능평가 결과 제안한 방안이 군집그룹의 규모를 적절하게 잘 제어하는 것을 확인할 수 있었다.

*Key words : Platooning, Dynamic grouping, connected, automated vehicle, merge*

### 1. 서론

군집주행은 하나의 그룹에 속하는 두 대 이상의 차량이 하나의 차량인 것처럼 짧은 간격을 유지하면서 주행하는 방식이다[1]. 다수의 차량이 비교적 작은 면적의 도로를 점유하면서 이동하기 때문에 불필요한 끼어들기 등을 통한 정체유발을 막을 수 있어 트래픽 흐름을 원활하게 할 수 있다. 또한 안전성을 증대시키고, 추종차량의 공기저항 감소를 통해 연료소비와 공해배출량을 줄이는 효과도 기대되고 있다. 짧은 간격을 유지하면서 하나의 차량처럼 움직이려면 고도의 정교한 제어가 이루어져야 한다. 군집주행을 하는 군집그룹 내의 차량은

\* Dept. of Electronic Engineering, Kwangwoon University

★ Corresponding author

E-mail : yuchung@kw.ac.kr, Tel : +82-2-940-5476

※ Acknowledgment

This paper was supported in part by the National Research Foundation of Korea (No.2014R1A1A2058618 and No.2017R1D1A1B03034966) and was conducted by the Research Grant of Kwangwoon University in 2018.

Manuscript received Dec. 7, 2018; revised Dec. 16, 2018; accepted Dec. 17, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

기본차량의 종적 횡적 움직임 제어뿐만 아니라 군집그룹의 병합과 분리, 군집 대형유지, 군집 내에서의 차선변경, 그리고 군집이탈 등의 군집 기동을 위한 동작제어도 이루어져야 한다[2]. ACC(autonomous cruise control) 기술과 V2V(vehicle to vehicle) 통신을 통해 이와 같은 제어를 실현할 수 있다[3], [4]. 이에 더해 주변 정보를 빠르게 수집하고 판단하여 주행할 수 있는 커넥티드 기반의 자율주행차 시스템은 군집주행의 구현에 크게 기여할 수 있다.

커넥티드 기반의 자율주행차 시스템은 클라우드 기반의 중앙관리장치에서 수집된 각종 정보를 기반으로 각 차량의 최적의 주행전략을 도출하고 이를 각 차량에 제공하여 그에 따라 차량이 주행하도록 한다. 중앙관리장치는 각 차량의 목적지와 도로의 트래픽 상황 등을 고려하여 각 차량의 주행경로, 속도, 주행방향, 차선변경 유무 등을 빠르고 정확하게 결정하고 이를 V2I(vehicle to infrastructure) 네트워크를 거쳐 각 차량에 알려주어 그에 따라 자율주행을 수행하도록 한다. 하지만 이를 위해서는 고속의 컴퓨팅 능력과 대규모의 네트워크 트래픽이 발생되기 때문에, 중앙에서 관리하는 차량의 규모를 획기적으로 줄여줄 수 있는 군집주행은 커넥티드 기반의 자율주행차 시스템에도 필수적이다.

군집주행에 따른 효과를 극대화하기 위해서는 군집주행을 하는 군집그룹의 규모가 크면 클수록 좋다. 하지만 규모가 커지면 그에 따라 제어의 복잡도가 기하급수적으로 증가하고, V2V나 V2I에서의 지연도 증가하게 된다. 그러므로 상황에 맞게 군집그룹을 동적으로 관리하여 적절한 규모를 유지하도록 하는 것이 필수적이다.

그동안 군집주행에 대한 많은 연구가 이루어져왔다[5], [6]. 하지만 기존의 연구들은 군집주행 시 차간 거리유지 및 동작 제어와 선도차량 통신을 대역폭 관리 등에 대한 연구들이 대부분이고, 군집그룹의 규모를 관리하는 것에 대해서는 거의 연구가 이루어지지 않았다. 본 연구에서는, 이와 같이 기존에 고려되지 않았던, 군집그룹을 동적으로 제어하는 방안을 제시하고 이의 성능을 마코프 체인을 기반으로 한 분석 모델을 통해 분석한다.

## II. 동적 군집그룹 제어 방안

커넥티드 기반의 자율주행차 시스템은 중앙 시스

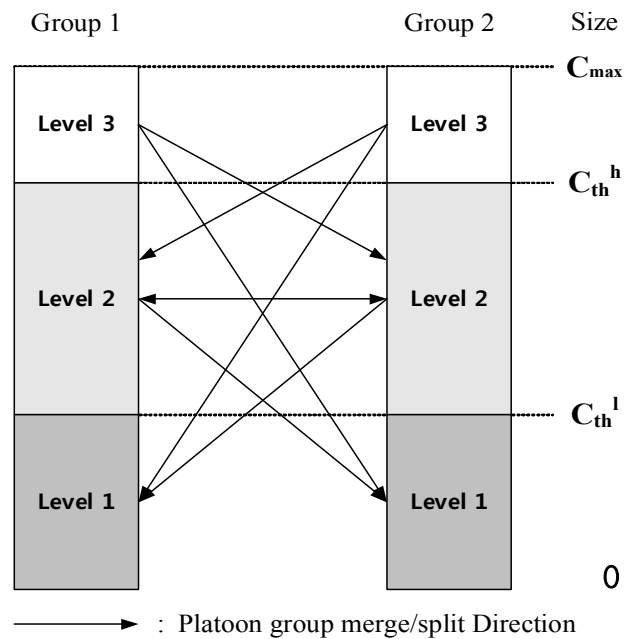


Fig. 1. Platoon group state model.

그림 1. 규모에 따른 군집그룹 모형

템으로부터 주행과 관련된 각종 정보 및 명령을 네트워크를 통해 제공받는다. 군집주행을 위한 군집그룹은 대표차량과 추종차량으로 구분할 수 있다. 군집주행 시에는 네트워크 트래픽을 줄이기 위해 대표차량만 중앙 시스템과 통신을 하여 정보를 수신하고, 이를 V2V 통신을 통해 추종차량들에게 전달하게 된다. 하지만 전달과정에서 필연적으로 발생하는 지연 때문에, 군집그룹의 규모가 일정크기를 넘어가게 되면 제시간에 정보가 모든 추종차량에게 전달되지 못하는 상황이 발생하게 된다. 때문에 군집그룹의 규모를 적당한 수준으로 유지할 필요가 있다. 본 논문에서 제안하는 동적 군집그룹 제어방안은 신규차량의 추가로 인해 군집그룹이 일정 규모이상 커지는 경우 그룹의 일부를 분리하여 인접해 있는 타 군집그룹으로 병합한다.

제안하는 방안의 성능분석을 위해 시스템 모델을 다음과 같이 가정한다. 우선 두 개의 군집그룹만 존재한다고 가정한다. 각 그룹은 중앙 시스템의 통제를 받으며, 규모의 제한을 받는다. 한 그룹이 유지할 수 있는 차량의 최대 수량을  $C_{max}$ 라고 가정한다. 두 그룹의 초기 규모는 각각  $N1$ 과  $N2$ 라고 한다. 그룹 분할 후 남은 그룹은 최소한 2대 이상의 차량으로 구성되어야 한다. 각 군집그룹은 자유롭게 신규차량을 추가할 수 있으며, 신규 차량이 각 군집그룹 1과 2에 합류를 요청하는 비율을  $\lambda_{n1}, \lambda_{n2}$

으로 정의하였다. 또한 군집그룹의 분리 및 병합 경우가 발행할 확률을  $\lambda_g$ 로 정의하고, 군집그룹의 분리 및 병합은 개별차량 별로 이루어지는 것이 아니라 분리그룹이라고 정의되는 세부 그룹 단위로 이루어진다고 가정한다. 그룹에 속해있는 각 차량의 주행시간을  $T_c$ 로 정의하고, 평균  $\mu_c^{-1}$ 를 가지는 지수분포를 따른다고 가정하였다. 군집그룹의 분리 및 병합이 발생하는 시점을 결정하기 위해서 상위 기준점  $C_{th}^h$  과 하위기준점  $C_{th}^l$  등 2개의 기준점을 정의하였다. 그림 1처럼 군집그룹을 그 규모에 따라 세 단계로 구분하였다. 그룹이 1단계일 때는 그룹 분리만 가능하고, 2단계일 때는 병합과 분리가 모두 가능하다. 3단계일 때는 병합만 가능하다.

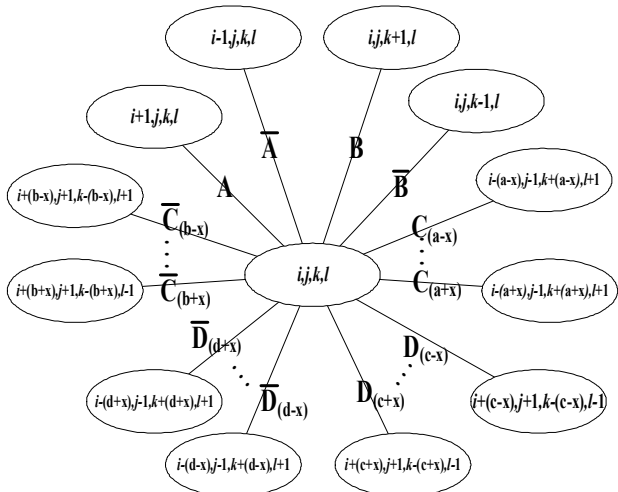


Fig. 2. State-transition diagram.  
그림 2. 상태 천이도

### III. 성능분석 모델

마코프 체인의 생성-소멸 과정을 이용하여, 제한된 동적 군집그룹 제어 방안의 성능을 분석하였다. 전체 시스템 관점에서의 상태 천이도와 각 상태 천이율이 그림 2과 3에 나타나있다. 이 분석과정에서 상태  $s$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$s = (v_1(s), b_1(s), v_2(s), b_2(s)).$$

여기서  $v_1(s)$ 와  $v_2(s)$ 는 군집그룹 1과 2의 차량 수이고,  $b_1(s)$ 과  $b_2(s)$ 는 각 군집그룹 내의 분리그룹의 개수이다. 군집그룹의 분리와 병합은 네 종류의 상태 천이를 이용해 모델링될 수 있다. 여기서

는 A~D까지의 대문자로 각 상태 천이 종류를 구분하였고,  $\bar{X}$ 는 X의 가역 쌍을 의미한다. 각 상태 천이 종류는 그림 3에 나타내었다. 상태천이 X에서 오른쪽 방향의 상태천이는 X1, 왼쪽 방향의 상태천이는 X2로 정의하였다.

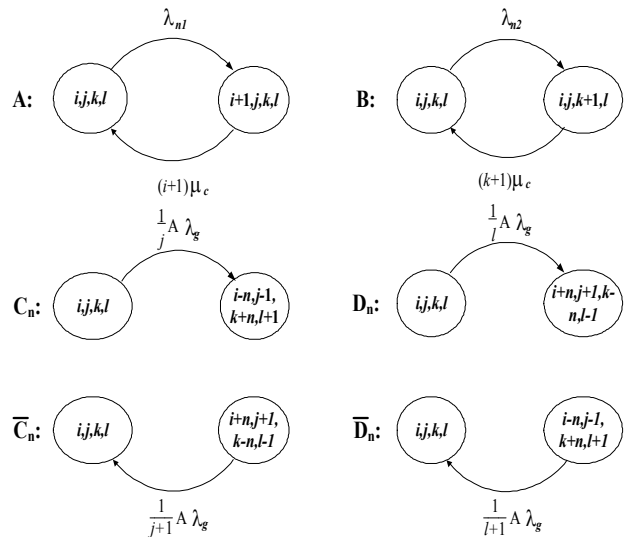


Fig. 3. State-transition rate pairs.  
그림 3. 상태 천이율

A1과 B1은 새로운 차량이 군집그룹 1과 2에 합류하는 경우를 나타내며, A2와 B2는 기존 차량이 주행을 종료하는 경우를 나타낸다. C1은 군집그룹 1의 분리그룹 하나가 분리되어 군집그룹 2로 병합되는 경우를 나타낸다. 분리그룹의 규모  $n$ 은,  $x$ 를 변이지수라고 정의하면 다음과 같이 총  $(2x+1)$ 가지 경우가 가능하다.

$$n = \left\{ \left\lfloor \frac{i}{j} \right\rfloor - x, \left\lfloor \frac{i}{j} \right\rfloor - (x-1), \dots, \left\lfloor \frac{i}{j} \right\rfloor, \dots, \left\lfloor \frac{i}{j} \right\rfloor + (x-1), \left\lfloor \frac{i}{j} \right\rfloor + x \right\}$$

그러므로 각 경우일 확률이 동일하다고 가정하면, 분리그룹 이탈률은 다음과 같이 표현된다.

$$transition\ rate = \frac{1}{j} \cdot \frac{1}{2x+1} \cdot \lambda_g$$

D1은 군집그룹 2의 분리그룹 하나가 분리되어 군집그룹 1로 병합되는 경우를 나타내며, C1에서와 동일한 과정을 거쳐, 분리그룹 이탈률  $(1/l) \cdot (1/(2x+1)) \cdot \lambda_g$ 를 도출할 수 있다.

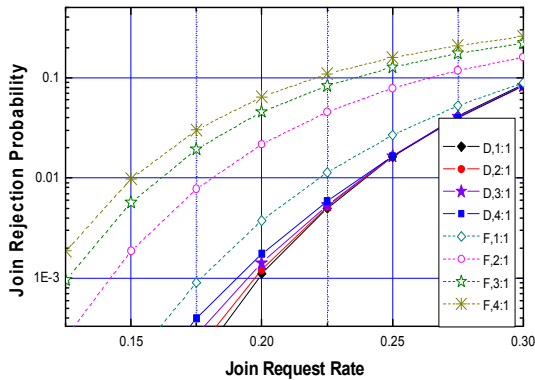


Fig. 4. Join Rejection Probability according to the ratio of join request rate between group 1 and 2.

그림 4. 군집그룹 1과 2의 신규 차량합류 요청률 비에 따른 신규 차량합류 거절률

제한한 동적 군집그룹 제어 방안의 성능을 평가하기 위해서 신규 차량합류 거절률을 성능지표로 활용한다.  $P(s)$ 를 상태  $s$ 에서의 정상 상태 확률이라고 한다. 군집그룹의 규모가 최대치일 때 신규 합류를 요청하는 차량이 있으면 그 차량은 합류가 거절된다. 그러므로 신규 차량합류 거절률  $P_R$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_R = \sum_{j=1}^{N1+N2-1} \sum_{l=1}^{N1+N2-1} \sum_{i=0}^C P(i, j, C, l) |_{j+l = N1+N2} + \sum_{j=1}^{N1+N2-1} \sum_{l=1}^{N1+N2-1} \sum_{k=0}^C P(C, j, k, l) |_{j+l = N1+N2} - \sum_{j=1}^{N1+N2-1} \sum_{l=1}^{N1+N2-1} P(C, j, C, l) |_{j+l = N1+N2}$$

동일한 이유로 분리그룹 병합 거절률도 신규 차량합류 거절률과 동일한 값을 가진다.

#### IV. 성능평가

수학적 분석모델을 이용해 동적 군집그룹 제어방안의 성능을 도출하였다. 성능의 수치해석을 위해, 변이 지수  $x$ 는 1의 값을 적용했고  $\mu_c = 0.01$ ,  $C_{max} = 20$ , 그리고  $N1 = N2 = 4$  를 사용하였다.

먼저 각 군집그룹의 신규 차량합류 요청률을 변화시켜가면서 신규 차량합류 거절률을 관찰하였다. 이 경우  $\lambda_g = 0.9$ ,  $C_{th}^h = 16$ ,  $C_{th}^l = 4$  로 설정하였다. 제안 방안의 성능 비교를 위해 군집그룹의 크

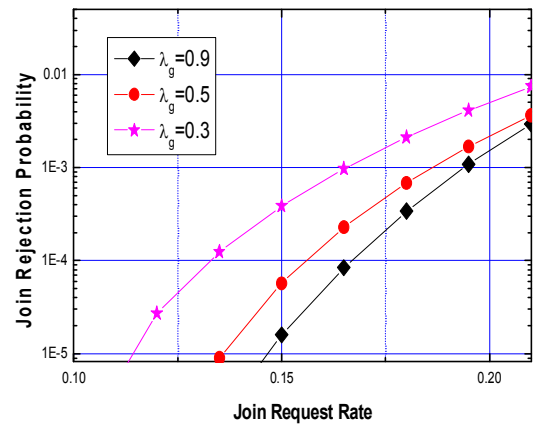


Fig. 5. Join Rejection Probability according to  $\lambda_g$ .

그림 5.  $\lambda_g$ 에 따른 신규 차량합류 거절률

기를 제어하지 않는 방안과 제안하는 방안을 비교하였고, 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림의 캡션에서 D는 제안하는 동적 군집그룹 제어방안을 의미하고, F는 군집그룹 크기를 제어하지 않는 고정 방안을 뜻한다. 숫자 a:b는 그룹 1과 그룹 2의 신규 차량합류 요청률의 비를 의미한다.

이 결과로부터, 전체적인 신규 차량합류 거절률은 신규 차량합류 요청률이 증가함에 따라 증가하는 추세를 보임을 알 수 있다. 신규 차량의 합류 요청률이 증가하면 그 군집그룹의 규모가 최대허용치로 빠르게 도달하게 되므로, 그룹의 규모를 조정하든 조정하지 않든 거절률도 증가하게 된다. 두 그룹의 요청률 비가 차이에 대해서는, 차이가 커지더라도 제안하는 방법이 적용된 경우 동적 재조정을 거쳐 양 그룹의 크기가 비슷하게 유지되므로 큰 영향을 미치지 못함을 볼 수 있다. 반면, 조정하지 않는 방안의 경우는 요청률 비 차이가 커짐에 따라 한쪽 그룹의 거절률이 높아져서 전체 성능이 나빠지는 것을 볼 수 있다.

다음으로  $\lambda_g$ 의 값을 변화시켜 가면서 군집그룹의 규모가 최대치에 도달해서 신규 차량의 합류가 거절되는 확률을 살펴보았다. 이번 경우에는  $C_{th}^h = 16$ ,  $C_{th}^l = 4$ , 그리고 그룹 1과 2의 신규 차량합류 요청률 비율을 2:1로 설정하였다.

그림 5에서 볼 수 있듯이,  $\lambda_g$ 의 크기가 크면 클수록 신규차량합류 거절률이 낮아지는 것을 볼 수 있었다. 이는  $\lambda_g$ 가 크면 클수록 군집그룹의 규모가 커졌을 때 이를 줄이기 위한 동적 군집그룹 제어동

작이 원활하게 이루어지고, 그 결과 군집그룹의 규모가 최대값을 넘지 않는 수준에서 잘 관리가 되기 때문이다.

이와 같은 결과를 통해 제안한 동적 군집그룹 제어방안이 잘 작동하며 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 커넥티드 기반 자율주행차 시스템에서 군집주행을 하는 군집그룹의 규모가 적절한 수준을 유지하도록 동적으로 제어하는 방안을 제안하고, 마코프 체인 기반의 분석모델을 통해 그 성능을 분석하였다. 본 연구의 결과는 효율적인 군집주행을 운영하는데 잘 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## References

- [1] Pooja Kavathekar and YangQuan Chen, "Vehicle Platooning: A Brief Survey and Categorization," *ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 2011. DOI:10.1115/DETC2011-47861
- [2] T. Robinson, E. Chan and E. Coelingh, "Operating Platoons on public motorways: An introduction to the SARTRE platooning programme," *ITS World Congr.*, 2010.
- [3] R. Rajamani and S. Shladover, "An experimental comparative study of autonomous and co-operative vehicle-follower control systems," *Transp.Res. Part C, Emerging Technol*, 2001. DOI:10.1016/S0968-090X(00)00021-8
- [4] F. Bai and B. Krishnamachari, "Exploiting the wisdom of the crowd: localized, distributed information-centric VANETs," *IEEE Communications Magazine*, vol.48, no.5, pp.138-146, 2010. DOI:10.1109/MCOM.2010.5458375
- [5] C. Bergenheim, E. Hedin, D. Skarin, "Vehicle-to-Vehicle Communication for a Platooning System," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*,

- 48, 1222-1233, 2012. DOI:10.1016/j.sbspro.2012.06.1098
- [6] A. Alam, B. Besselink, V. Turri, J. Martensson and K. H. Johansson, "Heavy-Duty Vehicle Platooning for Sustainable Freight Transportation: A Cooperative Method to Enhance Safety and Efficiency," *IEEE Control Systems Magazine*, vol.35, 2015. DOI:10.1109/MCS.2015.2471046

## BIOGRAPHY

### Young-uk Chung (Member)



1997 : BS degree in Electrical Engineering, KAIST.

1999 : MS degree in Electrical Engineering, KAIST.

2003 : PhD degree in Electrical Engineering and Computer Science, KAIST.

2005~current : Professor in Dept. of Electronic Engineering, Kwangwoon University.