

효율적인 자율주행 군집주행집단 관리를 위한 병합 제어 방안

Efficient platoon merger control scheme in automated connected vehicle systems

정 영 욱[★]

Young-uk Chung[★]

Abstract

Vehicle platooning in automated connected vehicle systems is an efficient transportation operation model that not only significantly reduces computational load and networking overhead of the central system but also improves traffic flow. For efficient platoon group management, it is important to maintain the platoon group size appropriately and to control the merge request of a new vehicle and other group member vehicle. In this paper, we present a merger control scheme that accepts or rejects merge requests based on the current group size and the priority of vehicles. The proposed method was analyzed and validated through mathematical models based on Markov chains. Performance evaluation shows that the proposed scheme properly manages the load of the central system.

요 약

커넥티드 기반 자율주행 시스템에서 차량의 군집주행은 중앙 시스템의 계산량과 네트워크 트래픽 로드를 크게 감소시켜 줄 뿐만 아니라 교통흐름을 개선하는 효과도 얻을 수 있는 효율적인 교통운영모델이다. 효율적인 군집주행집단 관리를 위해서는 군집의 규모를 적절하게 유지하는 것이 중요하며 이를 위한 신규차량 및 타 군집 소속 차량의 효율적인 병합 제어가 필수적이다. 본 연구에서는 군집의 현재 규모와 차량의 우선순위에 따라 병합 요청을 수락 또는 거절하는 병합 제어 방안을 제시한다. 제안하는 방안은 마코프 체인 기반의 수학적 분석모델을 이용해 분석하고 검증하였다. 성능평가 결과 제안한 방안이 중앙 시스템의 부하를 적절하게 잘 관리하는 것을 확인할 수 있었다.

Key words : *Platooning, merger control, connected, automated vehicle, markov*

*Dept.of Electronic Engineering, Kwangwoon University

★ Corresponding author

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

※ Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(ME and MSIT) (No.2017R1D1A1B03034966 and No.2021R1F1A1063247) and has been conducted by the Research Grant of Kwangwoon University in 2019. Manuscript received Sep. 2, 2021; revised Sep. 25, 2021; accepted Sep. 30, 2021.

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.

1. 서론

커넥티드 기반 자율주행 시스템은 차량의 자율주행 전략 및 판단을 각 개별 차량이 수행하는 것이 아니라, 클라우드를 이용한 중앙관리장치에서 각종 정보를 수집하고 이를 이용해 각 개별차량의 최적 주행전략 및 동작을 결정한다. 그리고 결정된 주행 전략 및 동작을 각 차량에 제공하고 이에 따라 차량이 주행동작을 수행하도록 한다. 중앙관리장치에서는 차량의 목적지, 도로의 정체정보, 교통신호, 통행량 등의 트래픽 상황정보를 고려하여 각 차량의 속도, 주행경로, 차선변경 유무 등을 결정함으로써

써, 거시적 관점에서의 교통흐름을 최적화할 수 있다. 각 차량에서는 중앙관리장치의 결정정보에 따라 기본적으로 동작하면서 돌발상황에 대한 자율적인 대처 정도를 보완적으로 수행하게 된다. 이와 같은 방식의 시스템이 동작하기 위해서는 고속의 컴퓨팅 능력과 초고속 및 고신뢰 통신능력, 그리고 대규모의 네트워크 트래픽 처리능력이 요구된다. 군집주행은 이와 같은 중앙관리장치 및 통신네트워크의 부담을 크게 줄여줄 수 있다.

군집주행은 두 대 이상의 차량이 짧은 간격을 유지하면서 하나의 차량인 것처럼 군집하여 주행한다[1]. 여러 대의 차량이 작은 도로 면적을 점유하며 이동하기 때문에 불필요한 끼어들기 및 차선변경 등을 통한 정체를 막을 수 있어 교통 흐름을 원활히 개선할 수 있다. 또한 사고의 위험도를 낮추고, 추종차량의 공기저항을 줄여 연비를 개선하고 공해 배출을 감소시키는 효과도 기대할 수 있다. 하지만 군집주행을 하는 군집그룹 내의 차량은 좁은 간격을 유지하면서 하나의 차량처럼 움직여야 하기 때문에 고도의 정교한 제어가 필수적이다. 각 멤버 차량의 종적/횡적 동작 제어뿐 아니라 군집그룹의 병합 및 분리, 군집대형의 유지, 그리고 멤버 차량의 군집이탈 등 각종 군집주행을 위한 동작 제어도 필요하다[2]. 과거에는 기술적인 어려움이 많았지만, 최근 ACC(Autonomous Cruise Control)와 같은 전장기술과 V2V(Vehicle to Vehicle) 통신기술 등의 발전을 통해 이와 같은 군집주행의 제어동작을 실현할 수 있게 되었다[3], [4]. 또한 군집주행을 주변의 정보를 빠르게 수집하고 주행동작을 결정하여 자율주행을 수행할 수 있는 커넥티드 기반 자율주행 시스템 환경에서 사용한다면 이와 같은 군집주행의 구현의 난이도를 크게 낮출 수 있다.

군집주행 개념이 커넥티드 기반의 자율주행차 시스템에 도입되면 중앙에서 관리하는 차량의 규모를 줄여줄 수 있어 중앙관리장치의 계산량과 네트워크 트래픽 로드를 크게 감소시킬 수 있다. 이와 같은 군집주행 도입의 효과는 군집그룹의 규모가 크면 클수록 극대화된다. 하지만 군집그룹의 규모가 커지면 군집주행 제어의 복잡도가 기하급수적으로 증가하고, V2I(Vehicle to Infrastructure)나 V2V에서의 지연도 증가하게 된다. 그러므로 효율적인 군집그룹 관리를 위해서는 군집의 규모를 상황에 맞게 적절하게 유지할 수 있도록 군집그룹에

병합을 요청하는 신규차량 및 타 군집 소속 차량에 대한 효율적인 병합 제어가 필요하다.

최근까지 군집주행과 관련된 많은 연구가 수행되었다[5]-[8]. 하지만, 기존의 연구들은 주로 군집그룹 내 차량의 주행동작 제어와 각 차량간 간격유지, 선도차량 통신의 대역폭 관리, 군집그룹 멤버 차량의 병합과 이탈 방법 등에 대한 내용들이 대부분이고, 효율적인 교통 시스템을 위해 군집의 규모를 최적으로 관리하는 주제에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 본 논문에서는 기존에 고려되지 않았던 군집의 현재 규모, 교통상황 및 차량의 우선순위에 따라 교통시스템의 부하를 최적으로 관리할 수 있도록 차량의 병합 요청을 수락 또는 거절하는 병합 제어방안을 제시한다.

II. 군집그룹 병합 제어방안

군집주행을 위한 군집그룹은 대표차량과 추종차량으로 구성된다. 대표차량은 군집주행시 중앙 시스템과 V2I통신을 통해 연결되어 각종 정보를 수신받고 주행판단을 내리며, 이를 V2V통신을 통해 추종차량들로 순차적으로 전달하여 군집의 주행을 공유한다. 커넥티드 기반 자율주행 시스템 하에서의 군집주행은 중앙 시스템이 각종 정보를 수집하고 이를 근거하여 주행판단을 내리며 이를 네트워크를 통해 대표차량으로 전달하게 된다.

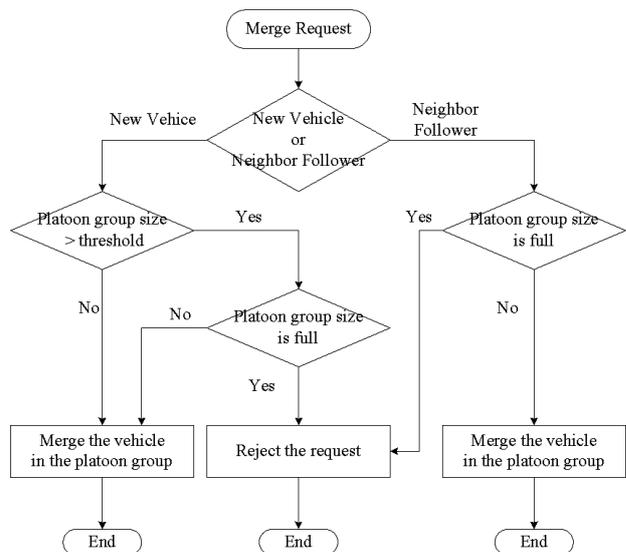


Fig. 1. Proposed Platoon merger control algorithm group state model.

그림 1. 제안하는 군집그룹 병합 제어 알고리즘

대표차량의 정보가 추종차량들로 전달되는 과정에서 물리적인 거리와 처리속도때문에 시간지연이 발생할 수밖에 없고, 군집그룹의 규모가 적정 크기를 넘어가게 되면 이와 같은 시간지연 때문에 정보가 추종차량들에 유효시간 내에 전달되지 못하는 상황이 발생하게 된다. 그러므로 군집그룹의 규모를 적절한 수준으로 제한할 필요가 있다. 본 논문에서는 최대 가능한 군집그룹의 규모가 고정값으로 제한된다고 가정한다. 제안하는 병합 제어방안은 병합 우선순위의 강도에 따라 제한값을 설정한다. 우선순위의 격차가 클수록 제한값이 작아지는 역의 관계가 성립한다. 군집그룹에 병합을 요청하는 주체는 신규차량과 타 군집그룹 추종차량이 있으며, 제안방안에서는 중앙관리장치의 부하를 줄이는 것을 주 목적으로 하여 신규차량이 타 군집그룹 추종차량보다 우선순위를 높게 설정한다. 타 군집그룹 추종차량의 경우 이미 소속 군집그룹을 통해 하나의 부하를 발생시키지만 신규차량의 경우 군집그룹 하나와 유사한 부하를 발생시키기 때문이다. 병합요청은 개별 차량에서 군집그룹의 대표차량으로 V2V 통신을 통해 이루어지며, 한번에 한 대씩만 요청한다고 가정한다. 병합 제어동작은 대표차량 또는 중앙관리장치에서 이루어진다. 제안하는 병합 제어방안은 군집그룹의 규모가 제한값보다 작을 때는 새로 병합을 요청하는 신규차량과 타 군집그룹 추종차량을 제한없이 수용한다. 군집그룹의 규모가 제한값보다 커지게 되면 우선순위가 높은 신규차량만 수용하며, 규모가 포화된 경우 모든 요청을 거부하게 된다. 제안하는 병합 제어방안의 상세한 알고리즘은 그림 1에 나타나 있다.

III. 성능분석 모델

제안하는 방안의 성능분석을 위한 시스템 모델은 다음과 같다. 하나의 군집그룹이 유지할 수 있는 멤버 차량의 최대값을 C 로 정의하였다. 신규 차량이 군집그룹에 병합을 요청하는 비율은 λ_n 으로, 타 군집그룹의 추종차량이 병합을 요청하는 비율을 λ_n 로 정의하고, 각각은 포아송 분포를 따른다고 가정하였다. 또한 최대 수량 C 와 우선순위에 따른 제한값의 차이를 0부터 C 사이의 값을 가지는 Q 로 정의하였다. 군집그룹의 추종차량이 그룹에 머무르는 시간을 T_g 라고 정의하고, T_g 는 평균 μ_g^{-1} 의 지수

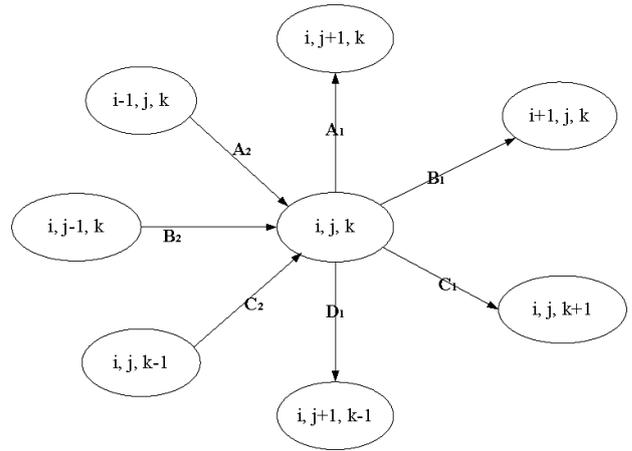


Fig. 2. The state transition diagram of the proposed scheme. 그림 2. 제안방안의 상태전이 다이어그램

분포를 가진다고 가정하였다.

제안하는 병합 제어방안의 성능은 마코프의 생성 및 소멸 과정을 이용하여 분석하였다. 그림 2과 3에 목표 군집그룹의 상태 천이도와 상태 천이쌍들이 제시되었다. 상태 천이도에서 임의의 상태 s 를 다음과 같이 정의하였다.

$$s = (i(s), j(s), k(s))$$

단, $i(s) \geq 0, j(s) \geq 0, k(s) \geq 0$.

여기서 $j(s)$ 와 $i(s)$ 는 목표 군집그룹 내의 신규차량 수와 타 군집그룹 추종차량 수이고, $k(s)$ 는 목표 군집그룹 내의 우선순위를 제공받아 병합요청이 수락된 차량의 수이다. 상태 s 에서의 목표 군집그룹의 규모를 $N(s)$ 로 정의하면, $N(s) = i(s) + j(s) + k(s)$ 가 되며 $N(s) \leq C$ 를 만족해야 한다.

군집그룹 추종차량의 분리와 병합은 네종류의 상태 천이쌍을 이용해 모델링하고, A~D를 사용하여 각 상태 천이쌍을 표시하였다. 또한 상태 천이쌍 A에서 좌에서 우로 천이하는 경우를 A1, 반대의 경우를 A2로 표현하였다. 각 상태 천이쌍 종류는 그림 3에 나타내었다. 그림에서 A는 신규차량이 군집그룹에 합류하고 이탈하는 경우를 나타내며, B는 타 군집그룹의 추종차량이 군집그룹에 합류하고 이탈하는 경우를 나타낸다. C는 군집그룹의 규모가 제한값에 도달한 이후 신규차량이 우선순위를 받아 군집그룹에 합류하고 이탈하는 경우를 나타내며, D는 제한값에 도달하기 전에 합류한 신규차량이 이탈하는 경우를 나타낸다.

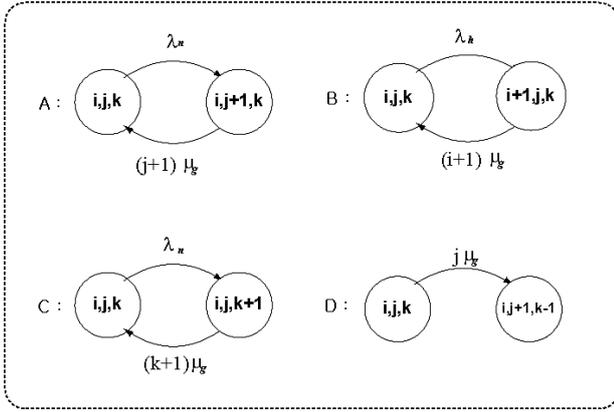


Fig. 3. The state transition pairs.
그림 3. 상태 전이쌍

상태 s 에서의 정상확률을 $p(s)$ 라고 정의하면 모든 상태에서의 정상확률의 합은 1이 된다. 본 논문에서는 제안한 군집 병합제어 방안의 성능을 신규차량과 타 군집 추종차량의 병합요청거절 확률을 통해 평가한다. 군집그룹의 규모가 최대치, 즉 C일 때 신규차량의 병합 요청이 있으면 그 병합요청은 거절될 것이다. 따라서, 신규차량 병합요청 거절률 P_R 은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$P_R = \sum_{i=1}^{C-Q} \sum_{j=1}^{C-Q} p(i,j,Q) |_{i+j=C-Q} + \sum_{i=1}^{C-Q} \sum_{j=1}^{C-Q} \sum_{k=0}^Q \frac{k \cdot \mu_g}{i \cdot \mu_g + k \cdot (\mu_g + 0.5)} p(i,j,k) |_{i+j+k=C}$$

군집그룹의 규모가 Q보다 클 때 타 군집 추종차량의 병합 요청이 있으면 그 병합요청은 거절될 것이다. 따라서, 타 군집 추종차량 병합요청 거절률 P_{RH} 은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$P_{RH} = \sum_{i=1}^{C-Q} \sum_{j=1}^{C-Q} \sum_{k=0}^Q p(i,j,k) |_{i+j+k=C}$$

IV. 성능평가

수치해석 예시를 통해 제안하는 군집그룹 병합요청 제어방안의 성능을 도출하였다. 성능평가를 위해, $\mu_g = 0.05$, $C = 20$ 를 사용하였다. 수치해석은 기본적으로 목표 군집그룹에 대한 신규차량 병합요청률을 변화시켜가면서 신규차량 및 타 군집 추종차량의 병합요청 거절률을 도출하였다. 제안하는 방안의 성능을 비교하기 위해 먼저 신규차량에 우선순위를 설정하지 않은 경우와 제안 방안을 비교

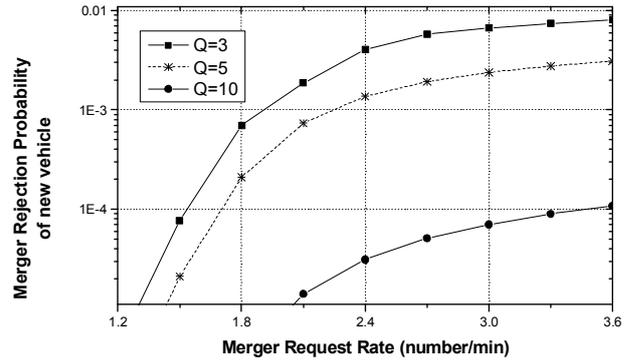


Fig. 4. Merger Rejection Probability of new vehicle according to the value of Q.
그림 4. 우선순위 강도의 변화에 따른 신규차량 병합요청 거절률

하고 그 결과를 그림 4와 5에 나타내었다. 또한 그림 4와 5에 우선순위의 강도, 즉 Q를 변화시켜가면서 제안 방안의 병합요청 거절률의 변화를 관찰하였다. 그림에서 볼 수 있듯, 우선순위를 설정하지 않은 경우에 비해 제안하는 방안은 타 군집 추종차량의 병합요청 거절률은 높아지지만 그만큼 신규차량의 거절률은 낮아지는 추세를 보였다. 타 군집 추종차량이 병합되는 대신 신규차량이 병합되면 중앙관리시스템 차원에서 계산 부하와 네트워크 트래픽 부하를 모두 감소시킬 수 있다. 이 효과를 표현하기 위해 다음과 같은 환경을 가정하고 성능을 도출하였다. 전체 시스템의 군집 개수를 3개, 개별 차량의 수를 10대라고 하고, 하나의 군집을 관리하기 위한 시스템 부하를 5, 하나의 개별차량을 관리하기 위한 시스템 부하를 3이라고 가정하였다. 그림 4, 5에서 도출한 결과를 활용하여 이 환경에

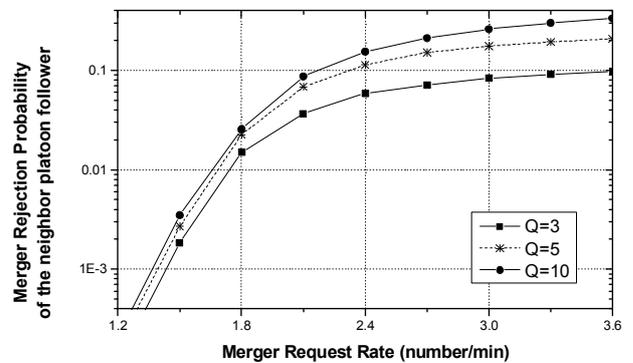


Fig. 5. Merger Rejection Probability of the neighbor platoon follower according to the value of Q.
그림 5. 우선순위 강도의 변화에 따른 타 군집 추종차량 병합요청 거절률

서의 시스템 총 부하를 계산한 결과가 그림 6에 도시되었다. 그림 6에서 볼 수 있듯이, Q의 크기가 크면 클수록 시스템 총 부하가 적어지는 결과를 얻을 수 있다. 이와같은 결과로부터 제안한 병합 제어방안이 시스템 차원에서 좋은 성능을 얻음을 확인할 수 있다.

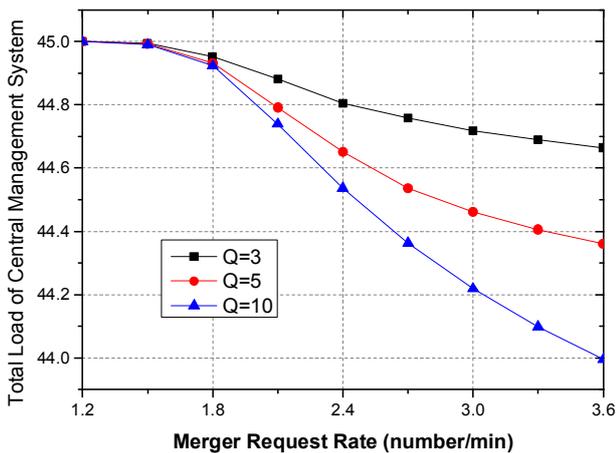


Fig. 6. Total Load of Central Management System according to the value of Q.

그림 6. 우선순위 강도의 변화에 따른 중앙관리시스템의 총 부하

V. 결론

커넥티드 기반 자율주행 시스템에서 중앙 시스템의 부하를 감소시키기 위한 군집주행그룹의 병합 제어방안을 제안하고, 마코프 체인 기반의 분석을 통해 그 성능을 평가하였다. 본 연구의 결과는 커넥티드 자율주행 시스템에서 군집주행을 도입하고 효율적으로 운영하는데 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.

- [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] S. Badnava et al., "Platoon Transitional Maneuver Control System: A Review," in *IEEE Access*, vol. 9, pp.88327-88347, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3089615

- [6] C. Bergenheim, E. Hedin, D. Skarin, "Vehicle-to-Vehicle Communication for a Platooning System," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol.48, pp.1222-1233, 2012. DOI: 10.1109/SICE.2015.7285493

- [7] 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

- [8] M. Aramrattana, T. Larsson, C. Englund, J. Jansson and A. N abo, "A Simulation Study on Effects of Platooning Gaps on Drivers of Conventional Vehicles in Highway Merging Situations," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Dec, 2020. doi: 10.1109/TITS.2020.3040085.

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.