

재난 상황 시 센서 네트워크 기반 구조자 진입 경로 탐색 방안

주양익*

Emergency Rescue Guidance Scheme Using Wireless Sensor Networks

Yang-Ick Joo*

*Associate Professor, Division of Electronics and Electrical Information Engineering, Korea Maritime & Ocean University, Busan, 49112 Korea

요 약

재난 상황 시 대피 경로를 유도하기 위해 대부분의 건물 등의 구조물에서는 중앙통제센터나 안전요원의 안내 및 대피 경로 유도등을 통해 대피 경로를 안내하고 있다. 하지만 규모가 커지고 갈수록 내부 구조가 복잡해짐에 따라 비상 상황 시 안전을 보장할 수 있는 지능적 안내 시스템의 필요성이 증가하고 있다. 따라서 경로 탐색 알고리즘에 기반한 지능적 대피경로 탐색 및 안내 시스템이 제안되었고, 구조물 내 설치된 센서 노드로부터 수집된 상황 정보를 기반으로 중앙 서버에서 각 위치별 최적의 경로를 제시하는 방식으로 대피 유도가 이루어졌다. 그러나 대피자의 효과적인 대피와 함께 중요한 부분이 구조자의 효율적인 구조활동이다. 현재까지 대피자의 대피 경로 유도에 대한 연구는 다양하게 이루어져왔으나, 구조자의 효율적 진입 경로 탐색에 대한 연구는 전무하였다. 따라서 본 논문에서는 센서 네트워크 환경에서 유전 알고리즘을 적용한 구조자 진입 경로 탐색 방안에 대해 제안하였다. 제안된 방식의 실효성을 검증하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 방식의 성능을 검증하였고, 그 결과 작업량 기준의 적용도 평가 시 적용도가 일정 시간 내에 수렴되었으며, 각 출구별 이동하는 노드의 비율로 환산한 출구집중도 역시 최대값과 최소값 차이가 현저하게 감소하였다.

ABSTRACT

Using current evacuation methods, a crew describes the physical location of an accident and guides evacuation using alarms and emergency guide lights. However, in case of an accident on a large and complex building, an intelligent and effective emergency evacuation system is required to ensure the safety of evacuees. Therefore, several studies have been performed on intelligent path finding and emergency evacuation algorithms which are centralized guidance methods using gathered data from distributed sensor nodes. However, another important aspect is effective rescue guidance in an emergency situation. So far, there has been no consideration on the efficient rescue guidance scheme. Therefore, this paper proposes the genetic algorithm based emergency rescue guidance method using distributed wireless sensor networks. Performance evaluation using a computer simulation shows that the proposed scheme guarantees efficient path finding. The fitness converges to the minimum value in reasonable time. The density of each exit node is remarkably decreased as well.

키워드 : 구조, 센서 네트워크, 유전 알고리즘, 재난 상황

Keywords : Rescue, Sensor Network, Genetic Algorithm, Emergency Situation

Received 29 July 2019, Revised 2 August 2019, Accepted 9 August 2019

* Corresponding Author Yang-Ick Joo(E-mail:yijoo@kmou.ac.kr, Tel:+82-51-410-4419)

Associate Professor, Division of Electronics and Electrical Information Engineering, Korea Maritime & Ocean University, Busan, 49112 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.10.1248>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©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.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 들어 건물 등 구조물의 규모가 커지고 갈수록 내부 구조가 복잡해짐에 따라 비상 상황 시 안전을 보장할 수 있는 대피 경로의 확보가 매우 어렵다. 하지만 재난 상황 시 대피 경로를 유도하기 위해 대부분의 건물 등의 구조물에서는 중앙통제센터나 안전요원의 안내 및 대피 경로 유도등을 통해 대피 경로를 안내하고 있다. 이러한 경우 실시간 상황에 대한 고려없이 단순히 출구 쪽 으로부터 대피를 유도하여 출구 쪽에 화재와 같은 위험 상황이 있다면 탈출자를 위험한 곳으로 유도할 수 있으며 대피자가 집중될 경우 2차 사고 발생의 우려가 매우 크다. 따라서 경로 탐색 알고리즘에 기반한 지능적 대피 경로 탐색 및 안내 시스템이 제안되었고[1]-[3], 구조물 내 설치된 센서 노드로부터 수집된 상황 정보를 기반으로 중앙 서버에서 각 위치별 최적의 경로를 제시하는 방식으로 대피 유도가 이루어졌다.

대피 경로 유도 및 탐색에 대한 연구와 달리, 재난 상황에서의 구조 경로 탐색에 대해서는 구조자 간의 위치 공유 등과 같은 단순 정보 공유만 이루어져왔다. 하지만 재난상황에서 실질적인 안전 확보를 위해서는 효율적인 구조 활동이 필수적이며, 이를 지원하기 위한 구조자 관점에서 효과적인 구조지원 최적화 방안이 필요하다.

구조지원 알고리즘은 대피유도 시스템과 달리 선박 재난상황 시 구조자 투입에 시간이 소요되므로 이 시간 동안 최적의 구조경로 및 구조자원을 결정할 수 있다. 따라서 구조작업시간에 대한 시급성은 매우 높지만 최적화 연산에 소요되는 시간은 대피유도 시스템에 비해 상대적으로 충분하므로 연산량과 연산시간에 대한 요구사항이 높지 않아서 정확도에 기반한 알고리즘 선정이 적합하다.

구조 경로 최적화의 문제는 변수와 제약이 많고 상황 변화에 따라 제약의 첨가나 목적함수의 변경이 필요하므로 유전 알고리즘(genetic algorithm)의 적용이 적합하다. 유전 알고리즘은 복수 개의 잠재해들로 이루어진 해 집단(population)을 운용한다. 이러한 해 집단에 자연선택과 유전법칙의 메커니즘을 적용하여 세대(generation)를 진행시키며 해 공간을 탐색한다[4]. 따라서 경로 탐색 등의 최적화 문제[5]와 다양한 분야에서의 제어 문제 [6] 등에 적용되어 왔다.

따라서 본 논문에서는 구조 경로 탐색에 대한 변수와

제약 조건을 유전 알고리즘의 파라미터로 변환하여 유전 알고리즘을 적용하는 방안을 제안하며, 이를 통해 구조에 소요되는 비용(cost)을 최소화되고 궁극적으로 최적의 구조 경로를 제시할 수 있음을 확인한다. 이는 본 연구진에서 M. -H. Cho *et al.* [7]에 제시한 상위설계 결과를 보다 구체화하고 개선하여 에너지 효율적인 분산적 대피 유도 시스템을 제안한다.

본 논문의 2장에서는 제안한 방식의 근간이 되는 유전 알고리즘에 대해 간단히 살펴본 후, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 유전 알고리즘 기반의 구조 경로 탐색 방안을 기술한다. 이후 4장에서 제안된 시스템에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능 평가 결과를 살펴보고, 이후 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 생물의 진화과정, 즉 자연선택(natural selection)과 유전법칙을 모방한 확률적 탐색 기법으로, 생물의 진화과정을 추상화하여 인공시스템을 설계하고자 하는 알고리즘이다[4]. 문자열의 형태로 정의된 해집단에 대한 교차(crossover) 및 돌연변이(mutation)의 과정을 적용하고 목적함수 기반의 적합도 평가를 통해 최적의 해를 찾아가는 추상화된 방식으로 그 개념과 적용이 단순하고, 해의 탐색능력이 우수하여 다양한 분야의 최적화 또는 의사결정문제에 적용이 가능하다[4]. 특히 변수와 제약이 많고 다수의 조건을 갖는 복잡한 문제에 널리 적용되고 있으며, 문제가 지나치게 복잡하여 연산량이 크게 증가할 경우에는 실제 최적해를 구하지는 못하더라도 최적해에 가까운 해를 구하기 위한 방안으로 적용할 수 있다[5].

유전 알고리즘은 잠재해를 표현한 개체들로 이루어진 모집단을 가지고 시작한다. 초기 모집단은 각 개체의 적응도(fitness)를 평가하여 다음 세대에 생존할 개체들을 확률적으로 선별하고(selection), 선별된 개체들 중 일부 개체들이 교배를 통해 자손을 생성한다. 이 때 교차에 의해 부모의 유전자가 자손에게 상속되고 돌연변이가 일어날 수 있다. 자손은 부모로부터 좋은 유전형질을 상속받겠다고 가정하여 다음 세대의 잠재해들은 평균적으로 전 세대보다 더 좋아질 것으로 가정한다. 이러한 진화과정은 설정된 종료조건을 만족할 때까지 반복

되며[4], 그 과정을 도시하면 그림 1과 같다.

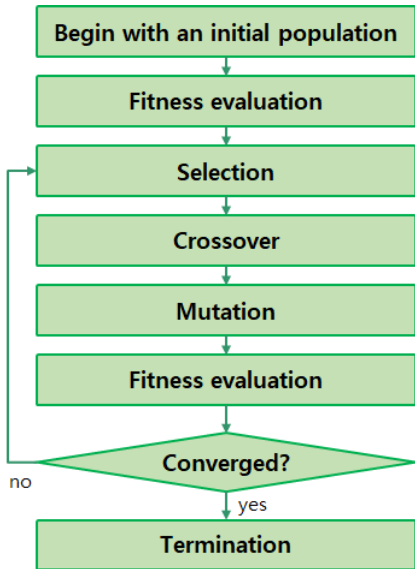


Fig. 1 Flow of Genetic Algorithm

특히 유전 알고리즘의 적용 분야 중, 조립 라인 밸런싱(Assembly Line Balancing: ALB) 문제는 순차적으로 구성된 공정에 작업량을 할당하는 문제로, 작업 할당의 관점과 할당되는 작업장 그룹핑(grouping)의 관점에 대한 최적의 해를 찾는 과정이다. 이 경우 유전 알고리즘의 분할문제(partitioning problem) 또는 그룹화문제(grouping problem)로 적용이 가능하다. ALB 문제에서 주로 다루는 문제는, (1) 사이클 타임이 주어지고 작업장 수를 최소화하는 문제, (2) 작업장 수가 주어지고 사이클 타임을 최소화하는 문제, (3) 작업장 간 작업부하의 균등화 문제, (4) 작업 관련성의 최대화 문제이다[8]. 즉 (1), (4)의 문제는 작업 허용시간이 고정된 문제이고, (2), (3)의 문제는 작업장의 수가 고정된 문제이므로, 본 논문에서는 재난상황 시 대피자가 분포한 공간, 즉 구조가 필요한 공간까지의 경로를 작업장으로 두고 사이클 타임 즉 구조 소요시간을 최소화하는 문제로 적용하여, 유전 알고리즘 기반 ALB 문제 해결의 과정으로 변환하여 진행한다.

III. 유전 알고리즘 기반 구조자 진입 경로 탐색

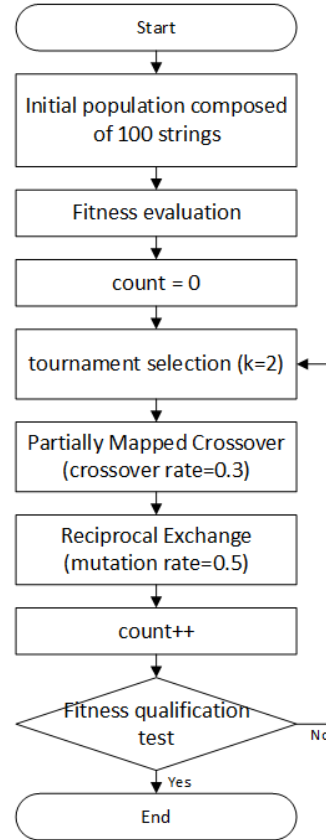


Fig. 2 Flow of the Proposed Scheme

본 논문에서는 유전 알고리즘의 조립 라인 밸런싱 문제에 재난 상황에서의 구조경로 최적화 문제를 대입하여 구조자 진입 및 구조경로의 최적화를 수행한다. 구조에 소요되는 시간에 대한 제약이나 생존자들이 분포하는 공간 등 구조상황에 따른 제약조건을 가정하는 데에 따라 적절한 모델링을 수행하며, 그에 따른 유전 알고리즘 적용을 통해 구조경로의 최적화를 실시한다.

앞서 언급된 ALB 문제의 4가지 유형 중 (2)의 문제는 작업장 수가 주어진 상태에서 사이클 타임, 즉 작업에 허용되는 시간을 최소화하는 문제로, 재난상황 시 대피자가 분포한 공간까지의 경로를 작업장으로 두고 유전 알고리즘을 적용하여 작업 허용 시간, 즉 구조에 소요되는 시간을 최소화하도록 모델링한다. 전체 과정을 그림 2에 도시하였다.

3.1. 개체표현

ALB 문제와 같은 분할문제는 순열표현과 그룹번호 표현 방식이 주로 사용되며, ALB 문제는 작업들 간 순서에 제약이 있다는 점에서 분할문제와 구분된다. 순열표현은 작업장에 작업들을 할당하는 순서대로 개체를 나열하여 표현하는 방법이고, 그룹번호표현은 개체의 인자값은 작업장 번호로 인자위치는 작업번호로 나타내는 방법이다[4]. 본 논문에서는 작업의 선행관계를 유지하면서 인자들의 순서를 교정하는 방법을 사용하면 순열표현방법에서는 기존의 많은 유전연산자들을 사용할 수 있으므로 순열표현 방법을 사용한다.

3.2. 개체해석

작업장의 수가 주어진 경우에 해당하므로, 작업들을 작업장 수와 일치하게 나눠 줘야 한다. 먼저 하나의 작업장에 할당할 수 있는 작업량의 상한(TUL)을 총 작업시간 (T)을 총 작업장 수(N)로 나누어 설정하고, TUL을 이용하여 작업량의 상한을 넘지 않도록 (N-1)번째 작업장까지 작업을 할당하고 나머지 작업들을 마지막 작업장에 모두 할당한다. 할당된 작업을 기준으로 각 작업장 i의 작업량, 즉 구조경로 i의 구조요소시간(T_i)과 T_i⁺를 계산하며, 여기서 T_i⁺는 T_i와 i+1번째 작업장에 할당된 첫 번째 작업의 작업시간을 합한 값이다[4]. 이러한 과정을 식(1)의 종료조건이 충족될 때까지 반복한다. 이를 통해 적절한 수의 개체로 이루어진 초기 모집단을 생성한다.

$$\max_{i=1,\dots,N} T_i \leq \min_{i=1,\dots,N-1} T_i^+ \quad (1)$$

3.3. 개체선별

적용도 평가를 총 작업량과 함께 식(2)를 통해 실시하며, 그 결과를 근거로 개체선별을 실시하여 다음 세대에 생존할 개체를 선택한다.

$$\text{Minimize } F = \max_{i=1,\dots,N} T_i \quad (2)$$

본 논문에서는 ALB 문제와 같은 최소화 문제에서 평가값의 척도를 재구성할 필요가 없으므로 토너먼트 선별(토너먼트 크기=2)을 통해 개체선별을 실시한다.

3.4. 유전연산

유전연산으로 교차와 돌연변이가 이루어진다. 좋은

해를 이용하기 위한 교차와 해공간을 다양하게 탐색하는 돌연변이를 위해, 본 논문에서는 부분사상교차(Partially Mapped Crossover: PMX) [9]와 교환(Reciprocal Exchange: RE) 돌연변이[10] 연산이 사용된다. 이 경우 교차율과 돌연변이율은 0.3, 0.5로 설정하였다(일반적으로 교차율과 돌연변이율은 각각 0.2~0.4, 0.4~0.6의 범위에서 좋은 결과를 나타냄[4]).

IV. 성능 평가

4.1. 시뮬레이션 환경 및 조건

컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능 평가를 위해 그림 3과 같은 구조물 내 센서노드 분포를 고려하고 각 센서노드는 재난상황에 대한 충분한 인지가 가능한 분포로 이동경로 상에 배치되었음을 가정한다. 일반적으로 재난 상황에 대비한 센서노드는 이동경로의 갈림길과 대피자 주요 분포공간 그리고 이동경로 상에 등간격으로 분포하며[2]-[3], 본 논문에서는 이동경로에 등간격으로 배치함을 가정하였다. 그리고 'x'로 표시한 상하의 4개의 종단노드는 출구를 의미한다.

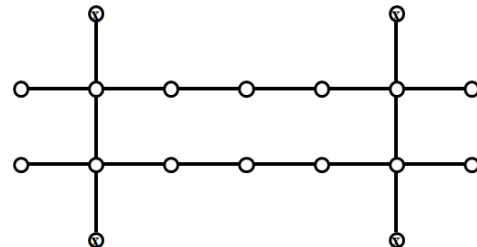


Fig. 3 Node deployment

컴퓨터 시뮬레이션 시 표 1과 같은 파라미터를 적용한다. 대피자의 이동 평균 속도는 3 m/s, 인접한 결정 노드 간 거리는 2 m로 가정하고, 20명의 대피자는 가정된 시뮬레이션 공간의 각 노드 위치에 균일분포(uniform distribution)에 따라 존재하는 것으로 가정한다.

Table. 1 Parameters for computer simulation

Parameters	Values
average speed of evacuees	3m/s
distance between adjacent nodes	2m
number of evacuees	20 (uniformly distributed)

4.2. 시뮬레이션 결과 및 성능 분석

초기 모집단 크기 100, 식(2)를 통한 적응도 평가, 토너먼트 선별, 교환(RE) 돌연변이를 통해 구조경로 최적화를 실시하였고 적응도 개선이 없이 진행된 세대수를 기준으로 종료조건을 달리하며 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다.

그 결과 최소 적응도 16으로 수렴하였으며 이를 통해 최적의 구조경로를 탐색함을 확인하였다. 이 경우 다른 모든 노드에서 구조되는 경로는 적절한 출구를 선택하였지만, 빨간색으로 표시한 좌측 하단 노드의 구조경로가 예상과 다른 출구를 선택함이 확인되었다. 이는 순열 표현을 통해 개체를 표현할 때, 좌측 상단출구부터 시계 방향으로 순차적으로 작업장을 배정하였고, 이후 식(2)를 통해 적응도 평가를 수행하면 마지막 두 출구, 즉 하단의 두 출구에서는 식(2)보다 작은 작업량을 갖는 경우 무작위로 출구가 선택되는 경향을 보이기 때문이다.

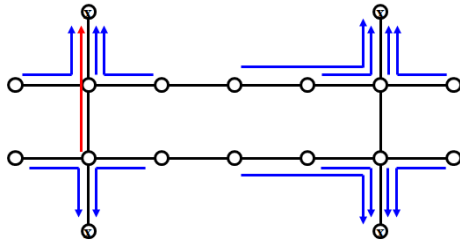


Fig. 4 Computer simulation result with fitness evaluation of Eq.(2)

따라서 앞서 3절에서 기술한 바와 같이 총 작업량을 기준으로 적응도 평가를 실시하였고, 그 결과 그림 4에서의 문제점이 개선됨을 확인할 수 있었다. 그리고 총 작업량을 기준으로 적응도 평가를 실시한 결과를 그림 5에 도시하였고, 그 때의 매핑된 구조경로는 그림 6과 같다. 그림 5에 도시한 바와 같이 총 작업량 기준의 적응도 평가 시 적응도가 최대 118에서 최소 52로 60회 반복 후 수렴되었으며, 각 출구별 이동하는 노드의 비율로 환산한 출구집중도 역시 최대값과 최소값 차이가 0.21에서 0.08로 감소하였다.

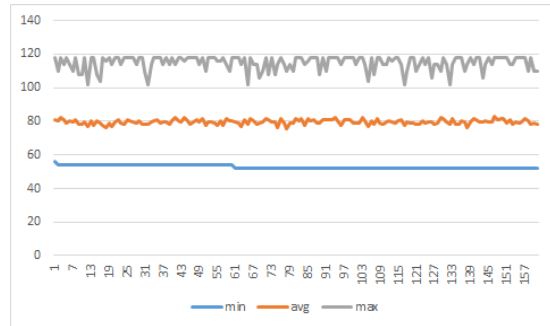


Fig. 5 Fitness evaluation results

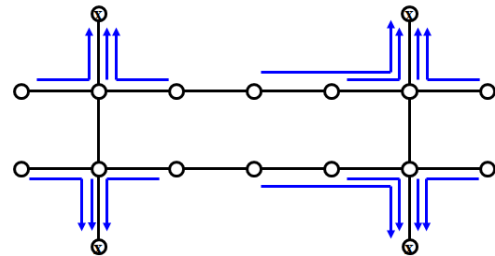


Fig. 6 Computer simulation result with fitness evaluation of total amount of work

V. 결론

본 논문에서는 유전 알고리즘의 조립 라인 밸런싱 문제에 재난 상황에서의 구조경로 최적화 문제를 대입하여 구조자 진입 및 구조경로의 최적화를 수행하였다. 구조에 소요되는 시간에 대한 제약이나 생존자들이 분포하는 공간 등 구조상황에 따른 제약조건을 가정하는 데에 따라 적절한 모델링을 수행하였으며, 그에 따른 유전 알고리즘 적용을 통해 구조경로의 최적화를 실시하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 구조물을 단순화하여 모델링하고 이를 적용한 환경에서 제한된 유전 알고리즘 기반 구조경로 탐색 방안의 성능을 검증하였으며, 그 결과 최적의 구조경로를 탐색할 수 있음을 확인하였다. 향후 본 기반연구를 토대로 상세한 재난상황의 모델링을 통해 구조경로 최적화 알고리즘을 구체화하고 아울러 대피경로 최적화와 연계하여 재난상황에서의 대피자-구조자로 인한 병목현상 등을 고려한 방안으로 확장시킬 계획이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korean government (2016R1D1A3B03934492).

References

- [1] S. H. Ok, J. H. Ahn, S. H. Kang, and B. I. Moon, "A combined heuristic algorithm for preference-based shortest path search," *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 47, no. 8, pp. 74-84, 2010 (in Korean).
- [2] M. B. Kang, G. Park, S. H. Yim, and Y. I. Joo, "Design of optimal evacuation route guidance system for accidents on board the ship," in *Proceedings of the 40th KOSME Spring Conference*, pp. 158, 2016 (in Korean).
- [3] M. B. Kang, and Y. I. Joo, "Intelligent evacuation systems for accidents aboard a ship," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 40, no. 9, pp. 824-829, 2016 (in Korean).
- [4] Y. K. Kim, B. S. Yun, and S. B. Lee, *Meta-Heuristic*, YoungJi, 1997 (in Korean).
- [5] K. B. Kim, "Combining A* and genetic algorithm for efficient path search," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 22, no. 7, pp. 943-948, Jul. 2018 (in Korean).
- [6] J. K. Ahn, S. Y. Kang, and M. O. So, "PD controller based on genetic algorithms for depth control of an autonomous underwater vehicle," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 42, no. 1, pp. 24-30, Jan. 2018(in Korean).
- [7] M. H. Cho, and Y. I. Joo, "A base study on emergency rescue guidance scheme using genetic algorithm," in *Proceedings of the 43rd KOSME Spring Conference*, pp. 273, 2019 (in Korean)
- [8] S. Ghosh, and R. J. Gagnon, "A comprehensive literature reivew and anlysis of the design, balancing and scheduling of assembly systems," *International Journal of Production Research*, vol. 27, no. 4, pp. 637-670, 1989.
- [9] D. E. Goldberg, and R. Lingle, "Alleles, Loci, and the TSP," in *Proceedings of the 1st International Conference on Genetic Altorithms*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, pp. 154-159, 1985.
- [10] M. Herdy, "Application of the evolution strategy to discrete optimization problems," in *Proceedings of the 1st International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science 496, pp. 188-192, 1991.



주양익(Yang-Ick Joo)

고려대학교 전자공학과 공학박사
삼성전자 DMC 연구소 책임연구원
한국해양대학교 전자전기정보공학부 조교수/부교수
※관심분야 : 이동통신, MAC layer solution