Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 18, No. 4 pp. 334-340, 2017

https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.4.334
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

뻐꾸기 탐색 방법을 활용한 다계층 시스템의 중복 할당 최적화

정일한
울산과학대학교 안전및산업경영과

Redundancy Allocation in A Multi-Level Series System by Cuckoo Search

Il-Han Chung
Department of Safety & Industrial Management, Ulsan College

요 약 신뢰도는 열차, 비행기, 여객선과 같이 시스템에 한번 고장이 발생한 경우 치명적인 결과로 이어져 시스템에서 중요한 설계 요인으로 고려되어진다. 상당히 높은 신뢰도를 요구하는 시스템에서 시스템의 신뢰도를 향상시키는 방법에는 다양하게 있지만, 부품의 중복은 시스템 신뢰도를 향상시키기 위한 효율적인 방법으로 알려져 있다. 신뢰도를 높이기 위해 부품을 중복하는 경우에는 어떤 부품을 몇 개를 중복해야 하는지를 시스템 신뢰도 측면과 비용, 기타 설계자원 측면에서 고려하여야 한다. 본 연구에서는 직렬 구조를 가지는 다계층 시스템에 대한 중복할당의 방법을 다룬다. 다계층시스템에 대한 정의를 설명하고, 제약된 설계비용에서 시스템 신뢰도를 최대화하기 위한 중복 부품의 선정과 중복수량을 최적화하는 방법을 다룬다. 특히, 다계층 시스템에서 경로집합 중에 단 하나의 품목만 중복이 가능한 경우에 대해서 다루며, 유효한 해를 찾기 위한 방법을 제시한다. 최적화를 위해 뻐꾸기 탐색 알고리즘을 적용한다. 뻐꾸기 탐색 알고리즘에서는 다계층시스템의 중복할당 최적화를 위한 탐색절차, 이웃해의 탐색 방법, 해의 표현 등을 제시한다. 수치예제를 통해 기존에 유전알고리즘과 뻐꾸기 탐색 알고리즘의 성능을 비교한다.

Abstract Reliability is considered a particularly important design factor for systems that have critical results once a failure occurs in a system, such as trains, airplanes, and passenger ships. The reliability of the system can be improved in several ways, but in a system that requires considerable reliability, the redundancy of parts is efficient in improving the system reliability. In the case of duplicating parts to improve reliability, the kind of parts and the number of duplicating parts should be determined under the system reliability, part costs, and resources. This study examined the redundancy allocation of multi-level systems with serial structures. This paper describes the definition of a multi-system and how to optimize the kind of parts and number of duplications to maximize the system reliability. To optimize the redundancy, the cuckoo search algorithm was applied. The search procedure, the solution representation and the development of the neighborhood solution were proposed to optimize the redundancy allocation of a multi-level system. The results of numerical experiments were compared with the genetic algorithm and cuckoo search algorithm.

Keywords : cuckoo search, MRAP, multi-level, redundancy, reliability

1. 서론

시스템을 운용하는 과정에 시스템의 고장이 시스템에 치명적 결과를 만든다면 시스템의 설계과정에 신뢰도는 설계 요소 중 중요한 요소로 고려되어져야 한다. 시스템의 신뢰도는 신뢰도가 높은 부품을 사용하거나 동일한

이 논문은 2016년 울산과학대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행됨
*Corresponding Author : Il-Han Chung(Ulsan College)
Tel: +82-52-279-3095 email: ihchung@uc.ac.kr
Received January 12, 2017 Revised (1st March 14, 2017, 2nd March 20, 2017)
Accepted April 7, 2017 Published April 30, 2017

기능을 하는 부품을 여러 개 사용함으로써 향상이 가능하다. 높은 신뢰도를 가지는 부품을 개발하거나 기존에 높은 신뢰도를 가지는 부품을 찾는 것이 불가능하거나 비효율적인 경우에 중복할당은 시스템의 신뢰도를 향상시키는 대안적 방법이 될 수 있다. 대부분의 시스템은 시스템 하위에 서브시스템이 서브시스템 하위에는 또다른 서브시스템 또는 부품을 가지는 계층적 구조를 가지고 있다. 일반적으로는 시스템의 신뢰도를 향상시키기 위해서는 계층 구조에서 최하위 부품을 중복하는 것이 가장 효과적이다. 그러나, 하위 수준에서 부품을 중복하는 것은 때로는 중복의 기술적 난이도와 환경적 특성으로 인해 서브조립체를 중복하는 것 보다 더욱 많은 시간과 비용이 필요할 수 있다.

Yun and Kim[1]은 계층적 구조를 가지는 직렬 시스템에서 모듈 중복 최적화 문제를 처음으로 제안했으며, 이를 위해 단순 유전 알고리즘을 사용하여 비용제약하에 시스템 신뢰도를 최대화시키는 방법을 제시하였다. 이 연구에서는 계층구조에서 최상위 시스템에서 최하위 부품에 이르는 경로를 경로집합이라고 할 때 경로집합에서 단 하나의 부품만 중복이 가능한 것으로 가정하였다. 이후에 Yun et al.[2]은 Yun and Kim[1]에서 적용한 제약을 제거한 다중 다계층 중복 할당 문제에 대해 순차적 기록 방법을 활용한 유전알고리즘으로 최적화하는 문제를 다루었다. Kumar et al.[3] 역시 Yun and Kim[1]에서 적용한 제약을 제거한 다계층시스템에 중복할당 문제를 다루었는데, 여기서 Yun et al.[2]와의 차이점은 Yun et al.[2]은 한번 중복한 부품에 대해 상위조립체에서 재중복을 하는 것을 허용하고 있지 않지만 Kumar et al.[3]은 중복 후 재중복을 포함한 다계층시스템에서 모든 경우에 대한 중복을 허용하고 있다. Kumar et al.[3] 이후로는 Kumar et al.[3]가 제시한 문제에 대해 다양한 연구를 통해 유전알고리즘의 최적화 효율성을 향상시키는 연구가 제안되고 있다[4], [5], [6]. 또한, 다른 메타휴리스틱을 적용하여 유전알고리즘과의 비교가 연구되고 있다 [7], [8], [9].

그러나, 시스템 설계시 대부분의 경우에는 경로집합에서 다중 중복에 대한 복잡성으로 인해 경로집합에서 단 하나의 부품만 중복으로 적용하고 있다. 경로집합에 대한 제약은 유효해 공간을 감소시킬 수 있어 탐색시간을 줄일 수 있지만 메타휴리스틱 측면에서는 오히려 제약으로 인해 유효해를 찾는데 어려움을 만들게 된다.

본 연구에서는 경로집합에 단 하나의 부품만 중복이 가능한 경우에 다계층시스템의 최적중복할당 문제를 다룬다. 이를 위해 뻐꾸기 탐색 알고리즘을 제안한다. 뻐꾸기 탐색 알고리즘은 Yang and Deb[10]에 의해 개발이 되었으며, 다양한 최적화 문제에서 활용되어지고 있다. 나아가 해의 탐색공간을 줄이기 위해 제약된 자원과 시스템에 필요한 자원 정보를 활용하여 중복할당 상한값을 적용하는 방법을 다룬다.

2. 다계층시스템과 중복할당

2.1 경로집합 제약이 있는 다계층 중복할당

기호

U_i : i번째 품목(시스템, 모듈, 최하위 부품)

$U_{i,m}$: U_i의 m번째 하위 품목

R_i : U_i의 신뢰도

C_i : U_i의 비용(부품 가격)

λ_i : U_i의 중복할당시 부가되는 부가적 비용

x_i : U_i에 할당된 중복 수

j_f : U_i의 직계 상위품목의 집합

R_S : 시스템 신뢰도

N : 총 부품 수

y_i: 0 or 1 : U_i 가 중복이 적용되면 1, 아니면 0

$C(x_i)$: U_i의 중복 수가 x_i인 경우 U_i의 총 비용

C_T : 시스템 비용 제약

B_i : x_i의 상한

다계층시스템은 Fig. 1.과 같이 최상위 시스템, 최하위 부품, 중간 수준에 서브조립체로 구성이 된다.

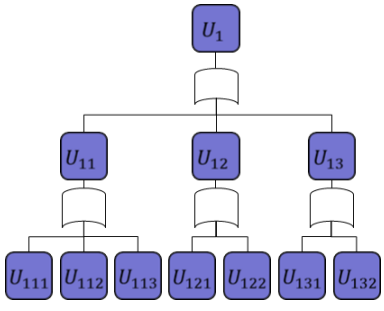

Fig. 1. a structure of a multi-level system

본 연구에서는 Fig. 1.에 나타난 최하위 부품과 서브 조립체 모두 중복할당을 허용하며, 경로집합에서는 단 하나의 부품만 중복이 가능한 것으로 가정한다.

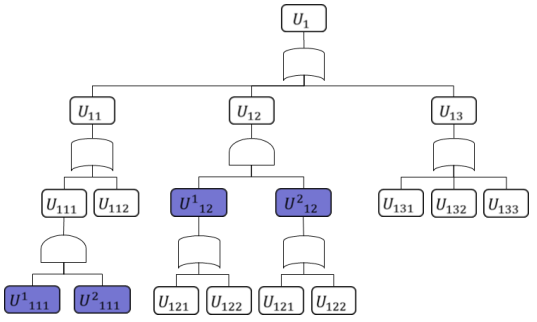

Fig. 2. possible case in MRAP

Fig. 2.는 본 연구의 대상 시스템의 예를 나타내는데, Fig. 1.에서 보는 바와 같이 경로집합은 $\{U_1, U_{11}, U_{111}\}$, $\{U_1, U_{11}, U_{112}\}$, $\{U_1, U_{11}, U_{113}\}$, $\{U_1, U_{12}, U_{121}\}$. . . $\{U_1, U_{13}, U_{133}\}$등이 있으며, Fig. 2.에서는 각 경로집합에서 한 개의 품목만 중복이 된 것을 볼 수 있다. 즉, 본 연구에서 다루는 대상시스템에서는 U_{111}이 중복이 된 상태에서 U_{11}이 중복될 수 없음을 의미한다.

2.2 모형 수립

본 연구에서 다계층 중복할당 문제는 시스템의 신뢰도는 최대화 시키는 중복 품목의 종류와 중복 수를 찾는 문제로 다음과 같이 모형을 수립할 수 있다[1].

$$\text{Max } R_s = \prod_{i=1}^{N}(1-y_i(1-R_i)^{x_i}) \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^{N} C(x_i) \le C_T \quad (2)$$

$$y_j + \sum_{k \in j_f} y_k = 1 \quad (3)$$

$$y_i = 0 \text{ or } 1 \text{ for all i}$$

$$x_i = 0 \text{ if } y_i = 0, \quad (4)$$

$$x_i \ge 1 \text{ if } y_i = 1,$$

여기서 정수 j는 최하위 품목을 나타낸다.

목적함수인 식(1)은 시스템에 각 품목들이 중복할당이 된 경우에 신뢰도이며, 이는 각 품목(U_i)의 중복할당 수 x_i와 중복 적용 여부 y_i의 값에 따라 결정되어진다. U_i를 중복하는데 소요되는 총 비용은 다음과 같이 계산되어진다.

$$C(x_i) = C_i x_i + \lambda^{x_i} \quad (5)$$

즉, $C(x_i)$는 품목비용(구입)과 중복으로 인한 부가비용의 합이 된다. 즉, 한 품목의 중복에 소요되는 비용은 중복에 따른 품목비용과 중복으로 인해 설계의 복잡성 및 부가적인 노력에 소요되는 비용의 합으로 나타난다.

식(2)는 총비용에 대한 제약을 나타내며, 총비용은 허용가능한 총 비용 C_T를 초과할 수 없다. 식(3)은 경로집합에 대한 제약으로 경로집합에서 단 하나의 품목만이 중복으로 적용이 가능함을 나타낸다.

3. 뻐꾸기 탐색 알고리즘

3.1 이산 뻐꾸기 탐색

뻐꾸기 탐색법은 몇몇 뻐꾸기 종의 절대적 기생습성에서 영감을 받아 개발되었으며, 많은 동물과 곤충들의 수렵채집 유형을 나타내는 Lévy 비행과 결합되어있다. 뻐꾸기 탐색 알고리즘을 적용하여 NP 문제로 유명한 외판원 문제(travel sales men problems)[11]와 흐름공정 일정 계획 문제[12] 역시 다루어졌으며, Garg[13]은 신뢰도 중복할당 문제에서 뻐꾸기 탐색 알고리즘을 적용하였다.

뻐꾸기 암컷은 다른 종의 둥지에 알을 낳아 둥지의 주인 새가 알을 부화시키고 새끼 뻐꾸기를 기르게 한다. 둥지의 주인 새는 알이 자신의 알이 아닌 것을 발견하면 알을 둥지밖으로 버리거나 둥지를 떠나게 된다.

본 연구에서 적용하는 뻐꾸기 탐색은 뻐꾸기의 기생습성을 바탕으로 다음 세가지 개념을 기초로 한다.

(1) 각 뻐꾸기는 한 번에 한 개의 알을 낳고 임의로 선택된 둥지에 알을 넣는다.
(2) 높은 품질의 알(주인새의 알과 비슷하게 생긴 알)을 가진 둥지는 다음 세대까지 가져간다.
(3) 가용한 둥지의 수는 고정되어 있으며, 주인 새는 정해진 확률을 가지고 자신이 낳지 않은 알을 발견할 수 있다. 이러한 경우에 주인 새는 새로운 위치에 새로운 둥지를 만들기 위해 알을 버리거나 둥지를 떠나게 된다.

위에 세가지 규칙을 기반으로 뻐꾸기의 다음 둥지는 Lévy 비행에 따라 탐색되어진다. Lévy 비행은 뻐꾸기 알고리즘에서 해의 국부화와 다양화 사이에 균형을 조정함으로써 뻐꾸기 알고리즘의 성능을 향상시킬 수 있다. 뻐꾸기 탐색의 새로운 해는 다음 식을 통해 나타낼 수 있다.

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + \alpha \oplus Levy(s,\lambda)$$

여기서 $\alpha > 0$고 Lévy 비행에서 단계별 크기를 나타낸다. 대부분의 경우에 $\alpha = 1$을 적용할 수 있다. Lévy 분포는 다음과 같다.

$$Levy(s,\lambda) \sim s^{-\lambda}, (1 < \lambda \leq 3)$$

Lévy 분포는 무한 평균과 분산을 가지고[10]. 단계의 길이는 Lévy 분포에 의해 계산되어진다.

3.2 뻐꾸기 탐색을 사용한 다계층 시스템 중복할당 최적화

본 연구에서 적용되는 뻐꾸기 탐색 알고리즘은 표준화된 절차를 바탕으로 알고리즘의 성능을 향상시키기 위해 몇 가지 부분에 대해 수정하였다. 제안된 뻐꾸기 알고리즘은 다음과 같다.

p개의 초기 둥지에 초기 모집단을 생성
초기 모집단에 대한 평가
While(i<MaxGeneration) or (Stop Criterion)
  현재 둥지 F_i에서 새로운 둥지 F_i^j 탐색 $(j = 1,2,...,l)$,(l :Lévy 비행에서 단계별 크기)
  새로운 둥지에 대한 평가
  IF $F_i^j < F_i$
    F_i를 F_i^j로 교체
    최적해 유지
    해에 대한 순위 작성
  $P_a \in (0,1)$ 확률로 주인새는 현재 둥지를 포기하고 새로운 둥지 생성
END While

3.2.1 뻐꾸기 알

뻐꾸기는 한 개의 둥지에 한 개의 알을 낳는 것으로 가정한다. 즉, 하나의 둥지에 한 개의 알이 대안해로 사용되어진다. 한 개의 알에는 다계층시스템에 모든 품목 U_1에서 U_N에 대해 두 개의 변수(x_i,y_i)로 구성이 된다. 각 알은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$s_k = \{(x_{k1},y_{k1})(x_{k2},y_{k2}) \cdots (x_{kN},y_{kN})\}$
$k = 1,2,...,p,\ p$: 모집단의 크기

3.2.2 초기해 생성

초기에 모집단에 각 해는 임의로 생성이 된다. 경로집합에서 중복 품목을 임의로 선택하고 선택된 품목의 x_i는 1에서 B_i사이에서 임의로 생성된다. 식(3)을 만족시키는 벡터 $(y_1,y_2,...,y_N)$가 모집단의 크기만큼 역시 생성되게 된다.

3.2.3 새로운 둥지 탐색

본 연구에서는 Ouaarab et al.[8]에서 제안한 단순 둥지 정책을 사용한다. 하나의 둥지는 모집단에서 하나의 해를 나타내며 둥지의 수는 모집단의 수와 같다. 주인새로부터 버려진 둥지는 새로운 둥지로 교체되어진다. 뻐꾸기는 Lévy 비행에 따라 새로운 둥지를 탐색한다. 현재의 둥지로부터 멀리 떨어진 새로운 둥지는 현재해로부터 상당히 차이가 있는 대안해를 의미한다. 새로운 둥지를 위해 현재의 둥지에서 변수(x_i,y_i)을 선택하고, 변수(x_i,y_i)의 값을 임의로 생성한다. 현재 둥지에서 새로운 둥지를 찾기 위해 선택되는 변수(x_i,y_i)의 수는 Lévy 비행에서 생성된 단계 길이에 의해 결정되어진다. 즉, 단계 길이가 증가하면 새롭게 생성되는 변수(x_i,y_i)의 수도 증가하게 된다. 새로운 둥지(대안해)는 많은 경우에 식(3)의 제약 조건을 어기게 되며 경로집합의 제약인 식(3)을 어기게 되는 경우에 대안해를 벌금함수나 기타 다른 방법을 통해 유효한 해로 유도하는 것은 거의 불가능하다. 따라서, 새롭게 찾은 둥지(대안해)는 적절한 절차에 따라 수정을 하여 식(3)을 만족할 수 있게 한다. 새로운 둥지를 생성하는 절차는 다음과 같다.

단계 1 : 임의로 둥지를 선택
단계 2 : Lévy 비행에 따라 단계 길이를 생성
단계 3 : 선택된 둥지를 가지고 새로운 둥지를 생성 (새롭게 생성된 둥지를 Nest 1로 표기)
단계 4 : Nest 1에서 변수(x_i,y_i)를 선택(이 변수를 Pair 1로 표기)
단계 5 : 새로운 둥지에 사용된 y_i가 1이면, (x_i,y_i)는 $(random[1,B_i],1)$로 만듦

단계 6 : 새로운 둥지에 사용된 y_i가 0이면, 식(3)을 만족시키기 위해 아래 절차 적용

6.1 : Pair 1의 경로집합에서 $y=1$을 가지는 상위품목(Pair 2로 표기)이 있으면 단계 6.1.1과 6.1.2를 따르고, 그렇지 않으면 단계 6.2를 따름

6.1.1 : Pair 2에 대해서 $y=0$으로 만듦

6.1.2 : Pair 2의 차 하위 품목에 대해 (x_k,y_k)는 $(random[1,B_i],1)$로 하고 단계 7로 이동

6.2 : Pair 1의 경로집합에서 $y=1$을 가지는 하위 품목이 있으면 단계 6.2.1과 6.2.2 실행

6.2.1 : Pair 1에 대해 (x_i,y_i)는 $(random[1,B_i],1)$로 만듦

6.2.2 : Pair 1의 하위 품목에 대해 $y_k=0$ 으로 하고 단계 7로 이동

단계 7 : 생성된 둥지의 수가 단계 길이보다 적으면, Nest 1을 선택하고 단계 3으로 이동

뻐꾸기의 다음 둥지는 위의 절차로 생성된 새로운 둥지들 사이에 가장 좋은 둥지로 교체되게 된다.

3.2.4 목적함수

뻐꾸기 탐색에서는 각 생성된 둥지에 대한 해의 평가를 위해 Yun and Kim[1]이 제안한 평가함수를 사용한다. 유효하지 않은 해 공간에 대한 효율적인 탐색을 위해 목적함수에 각 해의 유효하지 않은 정도에 대한 정보를 추가적으로 반영하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$eval(s_k)=R_S\times P(s_k)$$

$$P(s_k)=\begin{cases}1 & ,\text{if}\sum_{i=1}^{N}C(x_i)\le C_T\\ \left(\dfrac{\sum_{i=1}^{N}C(x_i)-C_T}{C_T}\right)^k & ,\text{if}\sum_{i=1}^{N}C(x_i)>C_T\end{cases}$$

벌금함수($P(s_k)$)의 강도는 k값에 따라 결정되어진다. 즉, 제약비용보다 소요되는 비용이 크면 $P(s_k)$의 값은 1보다 작은 값을 가지며 여기에서 k값이 커질 경우 $P(s_k)$ 값이 더욱 작아져 평가함수($eval(s_k)$)값이 더욱 작아지는 결과를 낳게 된다.

3.2.5 둥지 버리기

모집단의 크기는 고정되어 있고 주인새는 확률 $P_a\in(0,1)$를 가지고 다른 새의 알을 찾아낸다. 주인이 다른 새의 알을 찾게 되면, 주인 새는 둥지를 버릴 수 있다. 뻐꾸기 탐색에서는 이러한 경우 새로운 둥지로 교체하게 된다. 모집단에서 가장 좋은 해를 바탕으로 새로운 둥지는 임의로 생성된다.

3.2.6 중복할당의 상한

탐색공간을 정밀하게 추정할 수 있다면 탐색의 효율성을 높일 수 있다. 다계층시스템의 중복할당 문제에서는 해의 공간은 3개의 제약식에 의해 감소될 수 있다. 앞에서 언급한 대부분의 다계층시스템의 중복할당 문제에 대한 연구에서는 중복할당 수에 대한 해의 상한값을 추정하지 않고 정해진 고정된 상한값을 사용하였다. 그러나, 허용 가능한 최대 할당 수를 시스템의 구조 및 비용의 한계에 따라 변경을 시키면 해의 탐색 공간을 줄일 수 있어 해의 탐색 효율을 높일 수 있다. Yeh[9]는 다중 다계층 중복할당 문제에 대해 최적화하는 과정에 허용가능한 총 비용을 사용해서 각 품목에 대한 중복할당 상한을 만들어서 적용하고 있다. 본 연구에서도 이와 유사하게 다음과 같이 상한을 결정하여 적용한다.

$$B_k=\frac{C_{T-}\sum_{i=1,i\neq k}^{N}y_i\times C(x_i)}{C(x_k)}$$

즉, 위의 식은 U_k를 제외한 모든 품목의 중복할당 수가 1개인 경우 U_k에 할당 가능한 최대 중복 수량을 나타내고 있다.

4. 수치예제

수치예제는 Yun and Kim[1]에서 제시한 Fig. 3.과 같은 3수준 시스템에서 유전알고리즘과 뻐꾸기 알고리즘에 대한 성능을 비교한다. 각 알고리즘에서 생성되는 대안해는 Table 1.에 나타난 최하위 품목의 신뢰도, 각 품목의 단가, 중복으로 인한 추가 비용에 따라 계산되어진다.

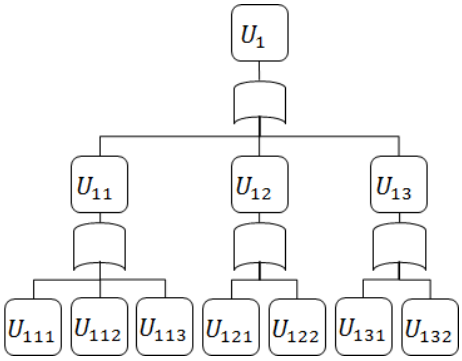

Fig. 3. three-level system for example

Table 1. Data for Figure 3.

Unit	Parent unit	Rel.	Price	Additive cost parameter
1 (system)	-	0.40029	72	2
11	1	0.72675	26	2
12	1	0.76500	19	3
13	1	0.72000	21	2
111	11	0.90000	5	3
112	11	0.95000	6	4
113	11	0.85000	5	4
121	12	0.90000	6	4
122	12	0.85000	7	4
131	13	0.90000	8	3
132	13	0.80000	7	4

실험은 Intel Core i5-2500 CPU 3.3GHz, 메모리 4GB를 가진 동일한 컴퓨터에서 시행되었다. 각 실험에서 모집단의 크기와 반복횟수는 각각 100과 1000으로 설정하였으며 10번에 시행을 수행하고 그 결과를 Table 2.에 나타내었다. Table 2.는 신뢰도 최대값과 10번 시행에서의 표준편차 그리고 탐색시간에 대한 최소, 최대값를 나타내고 있으며, Table 2.에서 최대 신뢰도 값이 높고, 탐색시간이 짧은 알고리즘이 우수한 성능을 나타낸다고 볼 수 있다.

Table 2.에서 보는 바와 같이 뻐꾸기 알고리즘이 유전알고리즘보다 3가지 경우(Table 2.에서 *)에서 더욱 좋은 해를 탐색하였으며, 유전알고리즘은 1가지 경우(Table 2.에서 *)에서 우위를 보였다. 뿐만 아니라, 뻐꾸기 탐색 알고리즘의 탐색시간이 유전알고리즘에 비해 대부분 적게 소요됨을 알 수 있다. 비용 제약이 300인 경우에 유전알고리즘의 신뢰도가 0.9755(Table 2.에서 **)로 뻐꾸기 알고리즘보다 높게 나타났으나, 이는 해당하는 해의 총 비용이 304를 가져 300을 초과하는 유효하지 않은 해의 결과였다.

5. 결론

본 연구에서는 다계층시스템의 중복할당 문제 중 경

Table 2. Comparison of CS(cuckoo search) and GA

Cost	CS				GA			
	Reliability		Computation Time		Reliability		Computation Time	
	Max	SD	Min	Max	Max	SD	Min	Max
150	0.8057	0.00270	0.10	0.13	0.8057	0	0.19	0.21
160	0.8309	0.00000	0.08	0.10	0.8309	0.002708	0.19	0.20
170	0.8511	0.00000	0.09	0.10	0.8511	0.000802	0.18	0.21
180	*0.8668	0.00000	0.09	0.10	0.8550	0.000665	0.18	0.19
190	*0.8878	0.00000	0.09	0.10	0.8796	0.012746	0.17	0.20
200	0.9136	0.01218	0.09	0.10	0.9136	0.014390	0.19	0.20
210	0.9136	0.00000	0.09	0.10	0.9136	0.007642	0.17	0.21
220	0.9272	0.00653	0.09	0.10	0.9272	0.009129	0.18	0.20
230	*0.9319	0.00000	0.09	0.10	0.9272	0.004032	0.17	0.20
240	0.9457	0.00000	0.09	0.10	0.9457	0.023489	0.18	0.20
250	0.9457	0.00000	0.09	0.10	0.9457	0.002079	0.18	0.19
260	0.9457	0.00000	0.09	0.10	*0.9469	0.004182	0.17	0.19
270	0.9609	0.00805	0.09	0.10	0.9609	0.016525	0.18	0.20
280	0.9609	0.00550	0.09	0.10	0.9609	0.012392	0.17	0.19
290	0.9609	0.00523	0.09	0.10	0.9609	0.004470	0.18	0.19
300	0.9600	0.00477	0.09	0.10	**0.9755	0	0.18	0.20
310	0.9755	0.00518	0.09	0.10	0.9755	0.004329	0.17	0.20
320	0.9755	0.00423	0.09	0.10	0.9755	0.006184	0.17	0.19
330	0.9755	0.00423	0.09	0.10	0.9755	0.005620	0.18	0.20
340	0.9798	0.00174	0.09	0.10	0.9798	0.005832	0.18	0.19

로집합에서 단 하나의 품목만 중복이 가능한 경우에 대해 다루었다. 다계층시스템의 중복할당 문제는 NP 문제로 뻐꾸기 탐색 알고리즘을 제안하였다. 다계층시스템의 다중 중복 할당 문제는 다양한 메타 휴리스틱에 대해 적용되어 연구가 되었으나, 앞에서 언급한 경로집합에 대한 제약이 있는 문제는 다소 연구가 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 경로집합 제약이 있는 경우에 해의 탐색 방법을 더욱 효율적으로 하기 위해 뻐꾸기 탐색 알고리즘을 고려하였으며, 이를 위해 기본 뻐꾸기 탐색 절차를 변형하여 다계층시스템 중복할당 문제에 적합하게 수정하여 적용하였다. 수정된 뻐꾸기 탐색 알고리즘에서는 알(대안 해)에 대한 정의와 제약식을 다루는 절차를 나타내었으며, 부가적으로 탐색공간을 줄이기 위한 상한값을 사용하는 방안에 대해 제시하였다. 제안된 뻐꾸기 탐색 알고리즘과 기존의 유전알고리즘을 비교하기 위해 수치예제를 다루었으며, 뻐꾸기 탐색 알고리즘이 동일한 조건에서 더욱 빠르게 나은 해를 찾을 수 있음을 알 수 있었다. 향후에는 뻐꾸기 알고리즘의 성능을 향상시키기 위한 개선과 다른 메타휴리스틱과의 비교를 통한 최적화 방법의 효율성 향상에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

[1] W. Y. Yun and J. W. Kim, “Multi-level redundancy optimization in series systems”, Computers and Industrial Engineering, vol. 46, no. 2, pp. 337-346, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cie.2003.12.013

[2] W. Y. Yun, and Y. M. Song and H. G. Kim, “Multiple multi-level redundancy allocation in series systems”, Reliability Engineering and System Safety, vol. 92, no. 3, pp. 308-313, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ress.2006.04.006

[3] R. Kumar, K. Izui, M. Yoshimura, and S. Nishiwaki, “Optimal multilevel redundancy allocation in series and series-parallel systems”, Computers and Industrial Engineering, vol. 57, no. 1, pp. 169-180, 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.11.008

[4] A. Pourdarvish and Z. Ramezani, “Cold standby redundancy allocation in a multi-level series system by memetic algorithm”, International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, vol. 20, no. 3, pp. 1-16, 2013. DOI: https://doi.org/10.1142/S021853931340007X

[5] P. He, K.Wu, J. Xu, J.Wen, Z. Jiang, “Multilevel redundancy allocation using two dimensional arrays encoding and hybrid genetic algorithm”, Computers and Industrial Engineering, vol. 64, no. 1, pp. 69-83, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.08.008

[6] Z. Wang, K.Tang and X. Yao, “A memetic algorithm for multi-level redundancy allocation”, IEEE Transactions on Reliability, vol. 59, no. 4, pp. 754-765, 2010. DOI: https://doi.org/10.1109/TR.2010.2055927

[7] K. J. Jang and J. H. Kim, “A tabu search for multiple multi-level redundancy allocation problem in series-parallel systems”, International Journal of Industrial Engineering, vol. 18, no. 3, pp. 120-129, 2011.

[8] T. J. Hsieh, “Hierarchical redundancy allocation for multi-level reliability systems employing a bacterial-inspired evolutionary algorithm”, Information Sciences, 288, pp. 174-193, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.07.055

[9] W. C. Yeh, “A two-stage discrete particle swarm optimization for the problem of multiplemulti-level redundancy allocation in series systems”, Expert Systems with Applications, vol. 36, no. 5, pp. 9192-9200, 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.12.024

[10] X. S. Yang, S. Deb, “Cuckoo search via le´vy flights”, Proceedings of World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing, Coimbatore, India, 2009.

[11] A. Ouaarab, B. Ahiod, and X. S. Yang, “Discrete cuckoo search algorithm for the travelling salesman problem”, Neural Computing & Application, vol. 24, no. 7, pp. 1659 - 1669, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/s00521-013-1402-2

[12] P. Dasgupta and S. Das, “A discrete inter-species cuckoo search for flow shop scheduling problems”, Computers & Operations Research, 60, pp. 111-120, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.01.005

[13] H. Garg, “An approach for solving constrained reliability redundancy allocation problems using cuckoo search algorithm”, Beni-suef University Journal of Basic and Applied Science, vol. 4, no. 1, pp. 14-25, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2015.02.003

정 일 한(Il-Han Chung) **[종신회원]**

- 2009년 9월 : 부산대학교 산업공학과 (공학박사)
- 2004년 6월 ~ 2010년 8월 : 현대로템(주) 기술연구소 주임연구원
- 2010년 9월 ~ 2011년 10월 : 포스코 생산성연구센터 총괄직
- 2011년 10월 ~ 2014년 2월 : 국방기술품질원 품질경영본부 선임연구원
- 2014년 3월 ~ 현재 : 울산과학대학교 안전및산업경영과 조교수

<관심분야>
신뢰성공학, 품질공학, 시뮬레이션, 최적화