



The Effect on Deferring Degree of The Optional Tasks in The Imprecise On-Line Scheduling

Gi-Hyeon Song^{*}

Department of Management Information System, Daejeon Health Institute of Technology

ABSTRACT

In a system that supports imprecise computations, every time-critical task is structured in such a way that it can be logically decomposed into two subtasks: a mandatory subtask and an optional subtask. In the imprecise computations, the on-line scheduling problems not only to improve schedulability for the mandatory subtasks but to minimize total error for the optional subtasks have been proposed recently. The NORA(No Off-line tasks and on-line tasks Ready upon Arrival) algorithm can find a schedule with the minimum total error for a task system consisting solely of on-line tasks that are ready upon arrival. To improve the schedulability of the NORA algorithm, The DOT(Deferred Optional Tasks) and the DOP(Deferable Optional Part) algorithms delay the optional subtasks of the earliest deadline tasks keeping the total error minimized. However, the algorithms were designed only for preemptable on-line imprecise tasks and couldn't be applied for nonpreemptable tasks. So, the DOTMD(Delay Optional Tasks Meeting its Deadline) and the DOTMP(Delay Optional Tasks as Many as Possible) algorithms are proposed for scheduling the nonpreemptable imprecise on-line tasks to improve the schedulability by deferring the optional subtasks also. But, the effects of the deferring degree for the optional subtasks on the schedulability and the total error haven't been known yet specifically until now. Therefore, in this paper, the effects of the deferring degree not only for the preemptable but for the nonpreemptable optional subtasks on the schedulability and the total error are analyzed and compared respectively by simulation study.

© 2017 KKITS All rights reserved

KEY WORDS : Imprecise computations, Minimize total error, Improve schedulability, Deferring optional tasks, On-line scheduling

ARTICLE INFO: Received 10 February 2017, Revised 21 March 2017, Accepted 7 April 2017.

^{*}Corresponding author is with the Department of Management Information System, Daejeon Health Institute of Technology, 21 Chungjeong-ro Dong-Gu Daejeon,

KOREA.

E-mail address: ghsong@hit.ac.kr

1. 서론

실시간 시스템상에서의 모든 태스크들은 그들 각각의 만기(deadline)이내에 한정된 자원(resource)들을 최대한 활용하여 정확한 결과를 산출해야만 한다. 그러나 현실적으로 실시간 시스템에 과부하(overload)가 발생하면 실시간 시스템내의 모든 태스크들의 실행을 그들 각각의 만기이내에 보장할 수 없게 된다. 그래서, 이러한 상황에 융통성 있게 대처하기 위한 합리적인 대안으로서 제시된 것이 부정확 실시간 스케줄링(imprecise real-time scheduling)[1-6]이다.

부정확 실시간 스케줄링에서 각 태스크는 필수적 태스크와 선택적 태스크로 구성된다. 필수적 태스크는 해당 태스크의 만기 이전에 반드시 실행이 완료되어야 하고 선택적 태스크는 필수적 태스크의 실행이 완료된 이후에 태스크 실행 결과의 질(quality)을 향상시키기 위하여 선택적으로 실행될 수 있다. 한편, 이러한 부정확 실시간 태스크들이 온라인 상에서 동적으로 도착될 때 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 최대로 보장하면서 선택적 태스크들의 총오류를 최소화시키는 스케줄링 알고리즘들에 관한 연구들이 꾸준히 진행되어 왔다[7-11]. 기존의 [7-9]와 같은 연구들은 선점가능한(preemptable) 부정확 실시간 태스크들이 동적으로 도착 될 때, 스케줄 대상이 되는 모든 필수적 태스크들의 스케줄가능성 여부를 그 태스크들의 실제 실행 이전에 먼저 사전 검증하여 모든 필수적 태스크들이 그들 각각의 만기이내에 스케줄 가능할 때에만 필수적 및 선택적 태스크들을 각 연구별 스케줄링 전략에 따라 총오류가 최소화 되도록 스케줄링시킨다. 여기서, 이러한 필수적 태스크들에 대한 스케줄가능성 여부에 대한 사전검증을 적합한 필수적 태스크 제약조건(Feasible Mandatory Constraint ; FMC) 이라고 정의한다[7].

그러나, 이러한 기존의 알고리즘[7-9]들에서는 시스템에 과부하가 발생될 때, 이러한 FMC 제약조건 자체가 스케줄링상 또 다른 부담(workload)으로 작용될 수 있다는 단점이 있으며 더욱이, 선점불가능(nonpreemptable)한 태스크 스케줄링에는 적용되지 못한다는 한계가 있었다. 그래서, [10-11]과 같은 연구들에서는 이러한 FMC 제약조건에 자유롭고 비선점형 태스크 스케줄링에 적합한 알고리즘들이 제안되었다. 한편, 부정확 선점형 온라인 태스크들을 스케줄링하는 [7-9]와 같은 연구들이나 부정확 비선점형 온라인 태스크들을 스케줄링하는 [10-11]와 같은 연구들에서 공통적으로, 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 높이기 위하여 선택적 태스크 지연 전략을 사용하는데 각 연구그룹별로 선택적 태스크들의 지연 정도가 필수적 태스크들의 스케줄가능성 및 선택적 태스크들의 총오류에 구체적으로 어느 정도의 영향을 미치는지 밝혀지지 않았다. 그래서, 본 논문에서는 실험을 통하여 부정확 온라인 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 높이기 위하여 선택적 태스크들을 지연시키는 정도가 스케줄가능성 및 총오류에 미치는 영향을 [7-9]와 같은 선점형 태스크 스케줄링 연구와 [10-11]과 같은 비선점형 태스크 스케줄링 연구 각각의 그룹별로 분석하고 비교해 보고자 한다.

2. 부정확 선점형 태스크들의 온라인 스케줄링

기존에 알려진 부정확 선점형 실시간 태스크 스케줄링[7-9]에서는 임의의 시점에서 스케줄 대상이 되는 실시간 태스크들의 모든 필수적 태스크들이 그들 각각의 만기 이내에 스케줄링 될 수 있는지를 실제 이 태스크들의 실행 이전에 미리 사전검증하여 스케줄 대상의 모든 필수적 태스크들이 스케줄가능하다는 보장 즉, FMC 제약조건이 충족되

는 조건하에서만 각 각의 연구에서 정한 스케줄링 전략으로 스케줄시켜 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 최대한 보장하면서 동시에 선택적 태스크들의 총오류를 최소화시키는 기본 전략을 사용해왔다. 그러나, 이러한 부정확 실시간 스케줄링의 대표적인 알고리즘인 NORA(No Off-line tasks and on-line tasks Ready upon Arrival) 알고리즘은 일시적인 시스템 과부하시 동적으로 도착하는 선점형 온라인 태스크들의 필수적 태스크들을 예약리스트의 빈 공간에 할당하지 못하여 스케줄링시키지 못하는 경우가 종종 발생하여 필수적 태스크들의 스케줄가능성이 저하되는 단점이 발생하였다. 그래서, 이러한 단점을 개선하고자 [8]에서는 일시적인 시스템 과부하 상태에서도 차후에 도착하게 될 선점형 필수적 태스크들에 할당할 예약리스트의 빈 공간을 최대한 확보하고자 임의의 구간에서 스케줄가능한 선점형 선택적 태스크들을 총오류가 증가되지 않도록 하면서 최대한 지연시키어 선점형 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 향상시키는 전략을 사용하는 DOT(Deferred Optional Tasks) 알고리즘을 제안하였다. 이 DOT 알고리즘[8]은 FMC 제약조건하에서의 부정확 선점형 태스크들의 온라인 스케줄링시, 필수적 태스크들의 스케줄가능성이 현존하는 선점형 알고리즘들 중에서 가장 우수한 SMF(Schedule Mandatory First) 알고리즘의 스케줄가능성과 비슷하며 총오류도 역시 현존하는 선점형 알고리즘들 중에서 가장 낮은 NORA 알고리즘에서 산출되는 총오류와 비슷하다는 점에서 가장 우수한 알고리즘으로 평가된다. 다음으로, 제안된 DOP(Deferable Optional Part) 알고리즘[9]은 임의의 구간내에서 스케줄대상이 되는 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 최적의 SMF 알고리즘 수준으로 높이기 위하여 선택적 태스크들을 선점(preemption)을 허용하면서 최대한 지연시키는 전략을 사용하다 보니 불가피하게 총오류가 증가하게 되는 단점

이 발생하였다. 그러나, 지금까지 살펴본 FMC 제약조건하에서의 부정확 선점형 실시간 태스크 스케줄링은 시스템 과부하시, 필수적 태스크들에 대한 FMC 제약조건의 사전검증이 또 다른 부하(load)로 작용될 수 있다는 단점을 갖고 있다. 다음의 제 3 장에서는 FMC 제약조건과 관계없이 비선점형 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 높이기 위하여 비선점형 선택적 태스크들을 지연시키는 기존의 연구들[10-11]에 대하여 기술해 보겠다.

3. 부정확 비선점형 태스크들의 온라인 스케줄링

부정확 비선점형 태스크들이 시스템에 동적으로 도착될 때 특정 스케줄링 구간내에서 스케줄 대상이 되는 필수적 태스크들의 스케줄가능성 여부에 대한 사전검증과 관계없이 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 높이기 위하여 선택적 태스크들을 지연시키는 최근의 연구[10-11]들을 소개하면 다음과 같다.

3.1 DOTMD 알고리즘

일반적으로, 기존의 [7-9]와 같은 연구들에서는 특정 스케줄링 구간내에서 스케줄 대상이 되는 필수적 태스크들의 스케줄가능성 여부에 대한 사전검증(FMC 제약조건) 과정을 거친 후 이 제약조건을 충족해야만 각 각의 연구들에서 제공하는 스케줄링 전략에 의하여 선점형 부정확 실시간 태스크들을 스케줄링 한다. 그러나, 현실적으로 실시간 시스템에 과부하가 발생하면 이러한 사전 검증 작업이 스케줄링상 또 하나의 부담으로 작용될 수도 있으며 선점불가능한 특징을 갖는 부정확 태스크들을 스케줄링해야만 하는 경우도 발생할 수 있다.

그래서, DOTMD(Delay Optional Tasks Meeting its Deadline) 알고리즘[10]에서는 시스템 과부하를 증가시키지 않도록 FMC 제약조건을 배제하면서 비선점형 부정확 태스크들의 선택적 태스크들을 만기가 빠른 순서로 어느 특정 태스크까지만 지연시키어 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 향상시켰다. 그런데, 이 알고리즘은 선택적 태스크들을 만기가 빠른 순서대로 어느 특정 태스크까지만 지연시키다 보니 필수적 태스크들에 대한 스케줄가능성이 기존의 전형적인 EDF(Earliest Deadline First) 알고리즘보다 현저히 높아졌으나 반대로 선택적 태스크들의 총요류는 선택적 태스크들의 지연으로 인하여 상당히 증가하는 단점이 발생하였다. 다음으로 제안된 DOTMP(Delay Optional Tasks as Many as Possible) 알고리즘[11]에서는 비선점형 부정확 태스크들의 만기 순서를 준수하면서 선택적 태스크들을 최대한으로 지연시킴으로서 DOTMD 알고리즘보다 총요류는 다소 많이 산출되지만 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 보다 향상시킬 수 있었으며 다음의 3.2절에서 구체적으로 이 알고리즘을 소개하고자 한다.

3.2 DOTMP 알고리즘

기존의 잘 알려진 EDF 알고리즘은 태스크들간의 선점을 허용하지 않으면서 철저하게 태스크들의 만기를 준수하면서 스케줄링하다 보니 선택적 태스크들의 총요류는 최적의 수준으로 낮게 유지되지만 필수적 태스크들의 스케줄가능성은 대단히 낮아지게 된다. 그래서, DOTMD 알고리즘에서는 부정확 태스크들의 만기 순서를 준수하면서 선택적 태스크들을 그들의 만기가 빠른 순으로 특정 태스크까지만 지연시키어 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 EDF 알고리즘보다 현격히 향상시켰으나 반대로 선택적 태스크들의 총요류가 상당히 증가하는 단점

이 발생하였다. 이에, DOTMP 알고리즘에서는 선택적 태스크들을 최대한으로 지연시켜 보았는데 그 결과, 필수적 태스크들의 스케줄가능성은 DOTMD 알고리즘보다 다소 높아졌지만 반대로 선택적 태스크들의 총요류는 선택적 태스크들의 추가적인 지연으로 인하여 DOTMD 알고리즘보다 약간 증가되는 단점이 발생하였다. 결국, 선점형이나 비선점형의 부정확 온라인 태스크 스케줄링에서 선택적 태스크들을 지연시킴으로서 필수적 태스크들의 스케줄가능성이 향상되고 선택적 태스크들의 총요류가 증가되는 공통적인 현상이 발생하지만 구체적으로, 선택적 태스크들의 어느 정도의 지연이 필수적 태스크들의 스케줄가능성과 선택적 태스크들의 총요류에 얼마만큼의 영향을 미치는지가 지금까지 밝혀지지 않아서 다음의 제 4 장에서는 이에 관한 실험결과를 기술하도록 하겠다.

4. 선택적 태스크들의 지연 정도가 스케줄가능성과 총요류에 미치는 영향

이 장에서는 선택적 태스크들의 지연 정도가 필수적 태스크들의 스케줄가능성과 선택적 태스크들의 총요류에 어떠한 영향을 미치는지 선점형과 비선점형 스케줄링 각각에 대하여 실험을 통하여 살펴 보기로 한다. 본 실험에서는 먼저 부정확 실시간 태스크들의 속성을 다음과 같이 정의한다 [12-15].

부정확 실시간 태스크들의 집합 $T = \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_n\}$ 에서, 각 태스크 T_i 는 $\{R_i, D_i, M_i, O_i\}$ 로 정의된다.

R_i : 준비시간, D_i : 만기, M_i : 태스크 T_i 의 필수적 태스크 실행요구시간, O_i : 태스크 T_i 의 선택적 태스크 실행요구시간

여기서, 이 부정확 태스크들을 구성하는 각각의 인자들인 R_i, D_i, M_i, O_i 값 들은 임의의 난수들로 랜덤하게 생성한다. 본 실험에서는, 이러한 태스크 100개로 구성된 태스크 집합 100개를 생성하여 NORA, DOT, DOP와 같은 선점형 태스크 스케줄링과 EDF, DOTMD, DOTMP와 같은 비선점형 스케줄링에서 선택적 태스크들의 지연이 스케줄가능성과 총오류에 미치는 효과를 실험을 통하여 비교해 보기로 한다. 먼저, 4.1절에서 위에 제시된 알고리즘들에서의 선택적 태스크 평균 지연률을 살펴보고 4.2절에서 선택적 태스크들의 지연 정도가 필수적 태스크들의 스케줄가능성에 미치는 영향을 분석해 보고 4.3절에서는 선택적 태스크들의 지연 정도가 총오류에 미치는 영향을 분석해 보겠다.

4.1 선택적 태스크 평균 지연률

선점형 태스크 스케줄링에서 SMF와 DOP 알고리즘은 그 알고리즘의 특성상 선택적 태스크들을 그들의 만기와 상관없이 100% 지연시키면서 필수적 태스크들을 만기가 짧은 순으로 우선적으로 스케줄링시킨다. 반면, NORA 알고리즘은 그 알고리즘의 특성상 선택적 태스크들을 전혀 지연시키지 않는다. 한편, 비선점형 태스크들을 스케줄링시키는 EDF 알고리즘은 그 알고리즘의 특성상 선택적 태스크들을 전혀 지연시키지 않으나 DOTMD 알고리즘과 DOTMP 알고리즘에서의 선택적 태스크 지연 정도는 지금까지 알려지지 않아서 실험을 통하여 살펴보니 다음의 <표 1>과 같았다. 본 실험에서는 100개의 태스크들로 구성된 임의의 태스크 집합에서 동적으로 발생될 수 있는 최대 100개의 스케줄링 구간들에서 각 알고리즘별로 선택적 태스크들의 평균 지연률을 계산하였다.

표 1. 선택적 태스크들의 평균 지연률 (%)
Table 1. Average delay ratio of the optional tasks (%)

| 알고리즘 태스크 집합 번호 | 선점형 | | 비선점형 | | |
|-------------------------|-------------|------|------|-------|-------|
| | SMF, DOP | NORA | EDF | DOTMD | DOTMP |
| 1 | 100 | 0 | 0 | 97 | 100 |
| 2 | 100 | 0 | 0 | 94 | 100 |
| 3 | 100 | 0 | 0 | 83 | 100 |
| 4 | 100 | 0 | 0 | 94 | 100 |
| 5 | 100 | 0 | 0 | 100 | 100 |
| 6 | 100 | 0 | 0 | 65 | 100 |
| 7 | 100 | 0 | 0 | 93 | 100 |
| 8 | 100 | 0 | 0 | 81 | 100 |
| 9 | 100 | 0 | 0 | 98 | 100 |
| 10 | 100 | 0 | 0 | 76 | 95 |
| 평균 | 100 | 0 | 0 | 88.1 | 99.5 |

위의 <표 1>에서 알 수 있듯이 DOTMD 알고리즘의 선택적 태스크 평균 지연률은 88.1%로 높은 편이며 DOTMP 알고리즘에서의 선택적 태스크 평균 지연률은 99.5%로서 DOTMP 알고리즘의 선택적 태스크 평균 지연률이 DOTMD 알고리즘보다 평균 11.4% 높다는 것을 알 수 있었다.

4.2 선택적 태스크들의 지연 정도가 스케줄가능성에 미치는 영향

부정확 실시간 태스크 스케줄링에서 선택적 태스크들의 지연 정도가 필수적 태스크들의 스케줄가능성에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 부정확 실시간 태스크들의 집합 $T = \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_{100}\}$, $T_i = \{R_i, D_i, M_i, O_i\}$ 100개를 랜덤하게 생성하여 다음의 <표 2>에서와 같이 선점형 및 비선점형의 각 알고리즘별로 스케줄링 했을 때, 100개의 태스크 집합들 중 스케줄가능한 태스크 집합의 개수를 10회의 실험을 통하여 비교해 보았다.

표 2. 스케줄가능한 태스크 집합의 개수 (개/100)
Table 2. The number of schedulable task sets (number/100)

| 알고리즘 실험 회수 | 선점형 | | 비선점형 | | |
|---------------|----------|------|------|-------|-------|
| | SMF, DOP | NORA | EDF | DOTMD | DOTMP |
| 1회 | 100 | 90 | 0 | 91 | 96 |
| 2회 | 98 | 97 | 1 | 96 | 97 |
| 3회 | 98 | 93 | 0 | 93 | 97 |
| 4회 | 99 | 95 | 0 | 90 | 95 |
| 5회 | 99 | 95 | 0 | 91 | 94 |
| 6회 | 99 | 92 | 0 | 91 | 93 |
| 7회 | 100 | 91 | 1 | 92 | 98 |
| 8회 | 99 | 94 | 0 | 93 | 95 |
| 9회 | 98 | 94 | 0 | 92 | 96 |
| 10회 | 98 | 96 | 0 | 94 | 98 |
| 평균(%) | 98.8 | 93.7 | 0.2 | 92.3 | 95.9 |

위의 <표 2>에서 알 수 있듯이 선점형 스케줄링의 NORA 알고리즘에서의 필수적 태스크 스케줄가능성은 평균 93.7%로 상당히 높은 편이나 SMF와 DOP 알고리즘에서는 선택적 태스크들을 최대로 100%까지 지연시켜 평균 98.8%까지 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 향상시켰다. 한편, 비선점형 스케줄링의 경우는, EDF 알고리즘이 선택적 태스크들을 전혀 지연시키지 않는 관계로 100개의 태스크 집합 거의 전부가 스케줄불가능하여 평균 0.2%의 극히 저조한 필수적 태스크 스케줄가능성을 보였으며 이러한 현상을 개선하기 위하여 제안된 DOTMD 알고리즘은 평균 88.1%의 선택적 태스크 지연률로 평균 92.3%의 필수적 태스크 스케줄가능성을 보일 수 있었다. 다음으로, 제안된 DOTMP 알고리즘에서는 평균 99.5%의 대단히 높은 선택적 태스크 지연률로 평균 95.9%의 필수적 태스크 스케줄가능성을 산출하게 되었다. 지금까지 살펴 보았듯이, 선점형이나 비선점형 스케줄링 모두 선택적 태스크들을 100%에 가깝게 최대로 지연시킬수록 필수적 태스크들의 스케줄가능성이 높아지지만 반대로, 이러한 선택적 태스크들의 최대 지연이 선택적 태스크들의 총오류에 구체적으로 어느 정도

의 영향을 미치는지에 대하여 다음의 4.3절에서 기술하고자 한다.

4.3 선택적 태스크들의 지연 정도가 총오류에 미치는 영향

부정확 실시간 태스크 스케줄링에서 선점형이나 비선점형 태스크에 관계없이 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 높이기 위하여 선택적 태스크들을 지연시키다 보면 필연적으로 선택적 태스크들의 총오류가 증가하게 된다. 다음의 <표 3>에서는 실험을 통하여 100개의 부정확 태스크들로 구성된 임의의 태스크 집합에서 선점형 및 비선점형의 각 알고리즘별로 총오류를 구한 후 100개의 태스크 집합들을 생성하여 각 알고리즘별로 이들의 평균 오류를 계산하고 이 평균 오류가 전체 태스크 집합의 평균 최대 오류에서 차지하는 비율을 계산하여 각 알고리즘별로 비교해 보았다. 먼저, 선점형 스케줄링인 NORA 알고리즘은 FMC 제약조건하에서 최적의 총오류를 산출하는데 본 실험에 의하면, 최대 오류를 100%로 보았을 때 평균 82%의 총오류를 산출하였다. SMF와 DOP 알고리즘의 경우는 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 높이기 위하여 선택적 태스크들을 최대로 지연시켰으나 총오류는 최적의 NORA 알고리즘보다 겨우 평균 1.2% 증가에 그쳤다. 즉, <표 4>에서 보듯이 선점형 스케줄링의 경우, 선택적 태스크들을 최대로 지연시킨 결과, 필수적 태스크들의 스케줄가능성은 평균 5.1% 향상되었으나 총오류는 평균 1.2%만 증가하게 되어 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 높이기 위하여 선택적 태스크들을 최대로 지연시키는 전략이 적은 비용으로 시스템 과부하 상태를 다소나마 해소시킬 수 있을 것이라 생각한다. 다음으로, 비선점형 스케줄링인 EDF 스케줄링은 <표 4>에서 보듯이 선택적 태스크들을 전혀 지연시키지 않는 관

계로 필수적 태스크들의 스케줄가능성이 평균 0.2%로 매우 낮으나 총오류는 평균 70.8%로 비선점형 알고리즘 중 최적의 성능을 보인다. 그러나, DOTMD 알고리즘과 DOTMP 알고리즘의 총오류는 <표 3>에서 볼 수 있듯이 최대 오류 100%를 기준으로, 각 각 평균 99.1%와 99.8%로 EDF 알고리즘의 평균 70.8%에 비해 각 각 평균 28.3%와 29%로 상당히 증가하게 되었다. 결과적으로, 비선점형 스케줄링에서는, EDF 알고리즘이 최적의 총오류를 산출하지만 필수적 태스크들의 스케줄가능성이 너무 낮아서 DOTMD와 DOTMP 알고리즘에서 선택적 태스크들을 점차적으로 지연시켜 보았더니 필수적 태스크들의 스케줄가능성이 각 각 평균 92.1%, 95.7% 만큼 현격하게 향상되었으나 반대로 총오류가 각 각 평균 28.3%와 29% 만큼 증가하면서 최대 오류에 근접하게 되었다. 지금까지 살펴본 선택적 태스크들의 지연 정도에 따른 필수적 태스크들의 스케줄가능성 및 선택적 태스크들의 총오류에 대한 효과들을 선점형 및 비선점형 각각의 스케줄링 알고리즘들에 대하여 다음의 <표 4>에서 비교해 보았다.

표 3. 태스크 집합들의 평균 총오류 비율 (%)
Table 3. Average total error ratio of task sets (%)

| 알고리즘 실험 회수 | 선점형 | | 비선점형 | | |
|---------------|----------|------|------|-------|-------|
| | SMF, DOP | NORA | EDF | DOTMD | DOTMP |
| 1회 | 83.6 | 82.2 | 71 | 98.9 | 99.7 |
| 2회 | 84.4 | 83.4 | 71.9 | 99.2 | 99.8 |
| 3회 | 82.9 | 81.8 | 70.3 | 99.4 | 99.9 |
| 4회 | 83.2 | 82.1 | 71 | 99 | 99.9 |
| 5회 | 82.4 | 81.3 | 70.1 | 99.2 | 99.9 |
| 6회 | 83.1 | 81.9 | 70.6 | 98.9 | 99.8 |
| 7회 | 83.6 | 82.2 | 71 | 99.1 | 99.8 |
| 8회 | 83.6 | 82.3 | 71.3 | 99 | 99.8 |
| 9회 | 82.8 | 81.4 | 70.6 | 99 | 99.8 |
| 10회 | 82.6 | 81.5 | 70.6 | 99.3 | 99.9 |
| 평균(%) | 83.2 | 82 | 70.8 | 99.1 | 99.8 |

표 4. 선택적 태스크들의 지연 정도에 따른 효과 (%)
Table 4. Effect on deferring degree of the optional tasks (%)

| 알고리즘 지표 | 선점형 | | | 비선점형 | | | |
|------------|----------|-------|--------|------|--------|--------------|--------------|
| | SMF, DOP | NO RA | 지연 효과 | EDF | DOT MD | DOT MD 지연 효과 | DOT MP 지연 효과 |
| 평균 지연률 | 100 | 0 | 100 지연 | 0 | 88.1 | 88.1 지연 | 99.5 |
| 스케줄 가능성 | 98.8 | 93.7 | 5.1 증가 | 0.2 | 92.3 | 92.1 증가 | 95.9 |
| 총 오류 | 83.2 | 82 | 1.2 증가 | 70.8 | 99.1 | 28.3 증가 | 99.8 |

5. 결론

최근 들어서, 부정확 실시간 선점형 태스크 스케줄링에서 FMC 제약조건을 충족시키면서 선택적 태스크들을 지연시킴으로서 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 높이하고자 하는 연구들이 진행되어 왔다[8-9]. 그러나, 선택적 태스크들을 지연시키게 되면 필연적으로 선택적 태스크들의 총오류가 증가하게 된다. 또한, 시스템 과부하시 [7-9]의 연구들에서의 FMC 제약조건이 또 다른 부하로 작용될 수 있어 이러한 FMC 제약조건에 자유롭고 비선점형 태스크 스케줄링에 적합한 부정확 실시간 스케줄링이 필요하게 되었다. 그래서 제안된 [10-11]과 같은 연구들에서도 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 향상시키기 위하여 선택적 태스크들의 지연 전략을 활용한다. 그런데, 지금까지의 연구[8-11]들은 선택적 태스크들의 지연이 필수적 태스크들의 스케줄가능성을 높이는 반면 선택적 태스크들의 총오류를 증가시킨다는 사실은 밝혀냈지만 선택적 태스크들에 대한 어느 정도의 지연이 스케줄가능성과 총오류에 어느 정도의 효과를 미치는지는 구체적으로 밝혀내지 않았다. 이에, 본 연구에

서는 선점형 및 비선점형 스케줄링 각각에 대하여 이러한 선택적 태스크들의 지연 정도가 필수적 태스크들의 스케줄가능성과 선택적 태스크들의 총 오류에 어떻게 영향을 미치는지를 실험을 통하여 살펴 보았다. 실험 결과, 선점형 스케줄링의 경우, 선택적 태스크들의 최대 지연으로 필수적 태스크들의 스케줄가능성은 평균 5.1% 향상되었으나 총 오류는 평균 1.2%만 증가 되었고 비선점형 스케줄링의 경우는 선택적 태스크들을 점차적으로 지연시켜 보았더니 필수적 태스크들의 스케줄가능성이 각각 평균 92.1%, 95.7% 만큼 현격하게 향상되었으나 반대로 총오류가 각각 평균 28.3%와 29% 만큼 증가하게 되었음을 확인할 수 있었다. 향후, 다양한 조건들에서 태스크 집합들을 생성하여 각 조건별로 선점형 및 비선점형 알고리즘에서 선택적 태스크들의 지연정도가 스케줄가능성과 총오류에 미치는 영향을 분석해 볼 필요가 있고 선점형 및 비선점형 스케줄링별로 현존하는 부정확 온라인 실시간 알고리즘보다 우수한 성능을 갖는 새로운 알고리즘을 개발할 예정이다.

References

- [1] S. K. Baruah, and M. E. Hickey, *Competitive on-line scheduling of imprecise computations*, IEEE Transactions on Computers, Vol. 47, pp. 1027-1032, 1998.
- [2] J. Y. Chung, W. K. Shih, J. W. S. Liu, and D. W. Gillies, *Scheduling imprecise computations to minimize total error*, Microprocessing and Microprogramming, Vol. 27, pp. 767-774, 1989.
- [3] J. W. S. Liu, W. K. Shih, K. J. Lin, R. Bettati, and J. Y. Chung, *Imprecise computations*, IEEE Special Issue on Real-Time Systems, pp. 83-94, 1994.
- [4] W. K. Shih, C. R. Lee, and C. H. Tang, *A fast algorithm for scheduling imprecise computations with timing constraints to minimize weighted error*, in Proceedings of the 21st IEEE Real-Time Systems Symposium, pp. 305-310, 2000.
- [5] W. K. Shih and J. W. S. Liu, *Algorithms for scheduling imprecise computations with timing constraints to minimize maximum error*, IEEE Transactions on Computers, Vol. 44, pp. 466-471, 1995.
- [6] W. K. Shih, J. W. S. Liu, and J. Y. Chung, *Fast algorithms for scheduling imprecise computations*, SIAM Journal on Computing, Vol. 20, pp. 537-552, 1991.
- [7] W. K. Shih, and J. W. S. Liu, *On-line algorithms for scheduling imprecise computations*, SIAM Journal on Computing, Vol. 25, No. 5, pp. 1105-1121, 1996.
- [8] J. M. Chen, W. C. Lu, W. K. Shih, and M. C. Tang, *Imprecise computations with deferred optional tasks*, Journal of Information Science and Engineering, Vol. 25, pp. 185-200, 2009.
- [9] H. P. Choi, and Y. S. Kim, *An EDF based real-time scheduling algorithm for imprecise computation*, Korea Information Processing Society(A), Vol. 18-A, No. 4, pp. 143-148, 2011.
- [10] G. H. Song, and K. H. Jeon, *A study on the deferring method of the optional tasks*, Journal of The Korea Knowledge Information Technology Society(JKKITS), Vol. 9, No. 1, pp. 22~29, 2014.
- [11] G. H. Song, *A study on new deferring method for optional tasks to improve schedulability*, Journal of The Korea Knowledge Information Technology

Society(JKKITS), Vol. 10, No. 3, pp. 337~346, 2015.

[12] G. H. Song, *An on-line algorithm to search minimum total error for imprecise real-time tasks with 0/1 constraint*, Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 8, No. 12, pp. 1589-1596, 2005.

[13] G. H. Song, *An efficient algorithm to minimize total error of the imprecise real time tasks with 0/1 constraint*, Journal of Korea Computer Industry Education Society, Vol. 7, No. 4, pp. 309-320, 2006.

[14] G. H. Song, *Scheduling algorithm to minimize total error for imprecise on-line tasks*, Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 10, No. 12, pp. 1741-1751, 2007.

[15] G. H. Song, *An improved online algorithm to minimize total error of the imprecise tasks with 0/1 constraint*, Journal of Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Vol. 34, No. 10, pp. 493-501, 2007.

크 시스템에서 최소의 총오류를 산출하는 스케줄을 발견할 수 있다. DOT(Deferred Optional Tasks)와 DOP(Deferable Optional Part) 알고리즘은 총오류를 최소로 유지하면서 만기가 빠른 선택적 태스크들을 지연시킨다. 그러나, 이 알고리즘들은 단지 선점형 온라인 부정확 태스크들을 스케줄링하기 위하여 설계되었으며 비선점형 태스크의 스케줄링에는 적용될 수 없었다. 그래서, DOTMD(Delay Optional Tasks Meeting its Deadline)와 DOTMP(Delay Optional Tasks as Many as Possible) 알고리즘들이 선택적 서브태스크들을 지연시켜 비선점형 부정확 온라인 태스크들의 스케줄가능성을 향상시키기 위하여 제안되었다. 그러나 지금까지, 이러한 선택적 서브태스크들의 지연 정도가 스케줄가능성과 총오류에 미치는 영향이 구체적으로 알려지지 않았다. 그래서, 본 논문에서는 선점형 뿐만 아니라 비선점형 선택적 서브태스크들에서의 지연 정도가 스케줄가능성과 총오류에 미치는 영향들을 실험을 통하여 각 각 분석하고 비교하였다.

부정확 온라인 스케줄링에서 선택적 태스크들의 지연정도에 따른 효과

송기현

대전보건대학교 경영정보과

요 약

부정확 계산들을 지원하는 시스템에 있어서, 모든 시간에 극한적인 태스크는 필수적 서브태스크와 선택적 서브태스크로 논리적으로 분할될 수 있다. 이러한 부정확 계산들에 있어서, 필수적 서브태스크들의 스케줄가능성을 향상시키며 선택적 서브태스크들의 총오류를 감소시키는 온라인 스케줄링 문제들이 최근에 제안되어 왔다. NORA(No Off-line tasks and on-line tasks Ready upon Arrival) 알고리즘은 도착과 동시에 실행준비가 되는 온라인 태스크들로만 구성되는 태스

감사의 글

본 논문은 대전보건대학교의 2016학년도 학술연구 조성비를 지원 받음.



Gi Hyeon Song received the bachelor's degree and M.S. degree in the Department of Computer Sciences and Statistics from the Chungnam National University in 1985 and 1987 respectively. He received the Ph.D. degree in the Department of Computer Engineering from Ajou University in 1999. He has been a professor in the Department of Management Information System at Daejeon Health Institute of Technology since 1990. His current research interests include real-time scheduling, embedded system, radar tracking. He is a member of the KKITS.

E-mail address: ghsong@hit.ac.kr