

이동 애드-혹 네트워크 환경을 위한 검사점 복구 기법에 관한 연구

박태순*

*세종대학교 컴퓨터공학과
e-mail: tspark@sejong.ac.kr

Checkpointing-Recovery Schemes for Mobile Ad-hoc Network Environment

Taeseon Park*

*Dept. of Computer Engineering, Sejong University

요 약

결함 내성은 신뢰도 있는 이동 컴퓨팅 환경을 구축하기 위한 중요한 요소 중 하나이며, 이동 컴퓨팅 환경을 위한 많은 결함 내성 기법들이 제안 되어졌다. 그러나 대부분의 제안된 기법들은 기지국의 지원과 같은 고정된 네트워크 구조를 기반으로 하는 이동 컴퓨팅 환경을 그 대상으로 한다. 이에 본 논문에서는 기존에 제안된 기법들을 고정된 네트워크 구조를 가지지 않는 이동 애드-혹 네트워크 환경에 적용 시킬 경우 발생 가능한 문제점들을 논의하고, 새로운 네트워크 환경인 애드-혹 네트워크 환경에 적합한 결함 내성 기법들에 대해 논의한다.

1. 서론

결함 내성 기법(fault-tolerance schemes)은 신뢰도 있는 이동 컴퓨팅 환경 구축을 위한 중요한 요소 중 하나이며, 따라서 이동 컴퓨팅 시스템내의 이동 호스트를 위한 많은 결함 내성 지원 방안들이 제안 되었다 [2, 3, 4]. 그러나 제안된 기법들의 대부분은 기지국이 이동 호스트들의 위치 추적 및 이동 호스트들 간의 통신을 관리하는 고정된 네트워크 환경(fixed network infrastructure)을 사용하는 시스템을 위해 제안 되어졌다. 이렇게 고정된 기지국이 존재하는 환경에서는 결함 내성 서비스 역시 기지국의 지원을 받아 이동 호스트의 복구 정보 저장 문제 등 중요한 문제들을 해결 할 수 있게 된다.

그러나, 이동 애드-혹 네트워크 시스템(mobile ad-hoc network system)[1]과 같이 기지국의 역할을 떠맡을 노드가 존재하지 않는 새로운 네트워크 환경에서는, 복구 정보의 저장을 위한 안정된 저장 공간의 부족이나 안정되지 않은 네트워크 구조에 따른 복구 정보 추적 등의 새로운 문제로 기존에 제안된 결함 내성 기법들의 사용이 용이 하지 않게 된다. 따라서 본 논문에서는 이동 애드-혹 네트워크 시스템에서의 결함 내성 지원을 위해 고려되어야 하는 문제 및 새로운 이슈들을 논의하고, 결함 내성 서비스 지원을 위해 사용 되어질 수 있는 몇 가지 방안들을 제안한다.

2. 결함 내성 서비스

본 절에서는 결함 내성 서비스를 지원하기 위해 필요한 주요 요소들을 설명하고, 이동 애드-혹 네트워크 환경에서 이러한 요소의 구현을 어렵게 하는 원인 및 문제점들을 논의한다.

2.1 결함 내성 서비스 구성 요소

결함 내성 서비스 지원을 위해 필요한 작업들은 크게 검사점 설정, 메시지 로깅, 롤백 복구 작업들로 분류된다.

먼저, 검사점 설정이란 이동 호스트의 실행 상태를 주기적으로 안정된 저장 장치에 저장하는 작업으로, 이렇게 저장된 이동 호스트의 중간 상태, 즉 저장된 검사점을 이용하여, 이동 호스트는 시스템 내의 결함 발생 시 지난 연산 지점에서부터 연산을 재개 할 수 있게 된다.

메시지 로깅이란 이동 호스트에서 실행 중인 프로세스들이 받은 메시지들을 안정된 저장 장소에 저장하는 작업을 말한다. 이렇게 로깅된 메시지들을 이용하여, 이동 호스트의 결함 복구 시, 각 프로세스들은 결함 발생 전과 동일한 연산을 재실행하여 결함 발생 전의 시스템 상태를 그대로 재현해 내게 된다.

이동 호스트 내에 결함이 발생 한 경우, 시스템을 결함 발생 전의 상태로 되돌리기 위해, 먼저 저

장된 가장 최근의 검사점 상태로 시스템 상태를 되돌리고, 각 프로세스들은 로깅된 메시지를 이용하여 이전 연산들을 재실행하게 되는데, 이러한 일련의 작업들을 롤백 복구 작업이라고 한다. 만약 모든 입력 메시지들이 안전하게 로깅되어, 순서대로 재실행이 된다면, 시스템의 상태는 결함 발생 직전과 동일한 상태가 되고, 이 경우 네트워크 상의 다른 이동 호스트들의 연산에 영향을 미치지 않는 독립적 복구가 가능하게 된다.

2.2 결함 내성 서비스 구현의 문제점

이동 네트워크 환경에서의 결함 내성 서비스 구현을 위해서는 크게 두 가지 문제점들이 해결 되어야 한다. 그 첫 번째가 검사점과 메시지 로그를 저장 할 수 있는 안정된 저장 장소의 구현 문제인데, 이는 대부분의 이동 호스트들이 보유하고 있는 저장 장소의 크기가 매우 제한적이기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 기지국 기반의 이동 컴퓨팅 환경에서는 이동 호스트들의 검사점과 메시지 로그 저장을 위해 기지국의 저장 장치를 활용하는 방안을 제안한다.

결함 내성 서비스 구현을 위해 해결 되어져야 할 두 번째 문제는 분산 저장된 복구 정보의 추적 문제이다. 이동 컴퓨팅 환경의 특성상 이동 호스트는 네트워크 내의 여러 지점을 이동하며 연산을 수행한다. 이에 따라 검사점 및 메시지 로그의 저장 위치가 이동 호스트의 현재 위치와 상이 할 수 있으며, 또한 여러 저장 장소에 분산되어 저장 되어 질 수가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 기지국 기반의 이동 컴퓨팅 환경에서는 기지국간 통신에 의한 저장 위치 추적 및 정보 이동 방법들을 제안하고 있다.

그러나 대용량의 저장 장소와 고정된 위치를 갖춘 기지국의 지원이 존재하지 않는 애드-혹 네트워크 환경에서의 결함 내성 서비스 구축은 다음과 같은 시스템 특성 상 쉽지만은 않다.

애드-혹 네트워크 환경에서는 기지국의 역할을 맡아줄 호스트가 존재하지 않는다. 따라서 검사점과 메시지 로그 등의 복구 정보는 이동 호스트의 자체 저장 장소나 이웃 호스트들의 저장 장소에 저장하는 방법 밖에 없다. 또는 이동 호스트와 가장 가까운 곳에 위치한 고정된 호스트를 발견 할 수 있다면, 해당 호스트의 저장 장치를 이용 할 수도 있다. 이 모든 경우 이동 호스트는 자신의 복구 정보를 저장해줄 충분한 저장 공간을 확보한 호스트를 찾아야 하며, 이러한 탐색 시간과 해당 호스트로의 복구 정보 전송 시간 등이 새로운 문제점이 될 수가 있다. 또한 일정한 시간 내에 충분한 저장 공간을 확보하

지 못할 경우에는 복구 정보의 분산 등도 고려해야 한다.

기지국의 지원을 받는 이동 컴퓨팅 환경에서는 이동 호스트의 복구 정보가 해당 호스트가 방문한 기지국에 의해 저장 된다. 즉, 각 이동 호스트는 자신의 복구 정보가 저장된 기지국의 위치를 알고 있으며, 그 위치는 언제나 고정 되어 있다. 이에 반해, 이동 애드-혹 네트워크 환경에서는 복구 정보를 저장한 이웃 호스트의 위치 파악이 쉽지가 않다. 이는 수시로 변하는 동적 네트워크 구조의 특징 때문이며, 따라서 이동 호스트의 결함 발생 시 복구 정보를 가지고 있는 이동 호스트의 위치 파악이 불가능해질 수도 있다.

3. 애드-혹 네트워크를 위한 결함 내성 서비스

본 절에서는 언급된 문제들을 해결하기 위해 사용 가능한 검사점 및 메시지 로깅 기법들, 그리고 다양한 결함 환경과 이동 호스트의 컴퓨팅 환경에 따른 적절한 기법의 선택 문제에 관해 논의한다.

3.1 검사점 관리

먼저 검사점 관리를 책임질 호스트의 선택 방법 및 검사점 관리 비용을 줄일 수 있는 방안 등에 관해 논의한다.

▶ 로컬 관리: 만약 이동 호스트가 자신의 검사점을 저장할 충분한 저장 공간을 가지고 있다면, 검사점은 해당 이동 호스트에 의해 관리된다.

▶ 지역적 관리: 각 이동 호스트에 의해 일정한 시간 내에 접근 가능한 지역(region)을 서비스 지역(service region)으로 명명하고, 각 지역 내의 정적 호스트 또는 충분한 크기의 저장 공간을 갖춘 이동 호스트를 각 지역의 복구 정보 관리자(recovery manager)로 지정한다. 단, 정적 호스트가 아닌 이동 호스트가 지역 관리자로 지정되는 경우에는 해당 호스트의 이동에 대비해 하나 이상의 호스트를 복구 정보 관리자로 지정한다. 각 이동 호스트는 새로운 지역으로 이동 시, 자신의 이웃 호스트들을 통해 해당 지역의 복구 정보 관리자를 파악하고, 해당 지역 내에서 새롭게 검사점을 설정하게 될 때, 복구 정보 관리자에게 전달한다. 만약, 해당 지역에 하나 이상의 복구 정보 관리자가 존재하면, 모든 관리자에게 검사점 정보를 전달한다.

▶ 이웃 호스트에 의한 관리: 이동 호스트가 매우 제한된 크기의 저장 공간을 가지며, 접근 가능한 지역 내에 복구 정보 관리자를 찾을 수 없는 경우에는 이웃 호스트의 저장 공간을 이용하는 방법이 있다. 이 경우, 이동 호스트는 자신의 새롭게 설정한

검사점을 이웃 호스트들에게 전달하는데, 각 호스트의 갑작스런 위치 이동 및 통신 단절들을 고려하여, 최소한 $k+1$ 개의 이웃 노드에게 검사점을 전달하여야, k 개의 동시 결함에 대처 할 수 있다.

검사점을 저장 할 호스트의 최초 선택과 함께 고려되어야 하는 또 다른 문제는 이동 호스트의 이동에 따른 검사점의 이송 문제이다. 이동 호스트가 한 네트워크에서 다른 네트워크로 이동을 하게 되는 경우, 검사점 역시 새로운 네트워크 내의 호스트에 의해 관리되어야 한다. 검사점 이송과 관련해서 두 가지 이주 기법이 고려 될 수 있는데, 하나는 호스트의 이동 시기와 동기화된 빠른 이주 기법이며, 다른 하나는 검사점의 이주를 이동 호스트의 결함 발생시까지 지연 시키는 지연된 이주 기법이다. 정적 또는 이동이 적은 복구 정보 관리자가 지원되는 경우에는 복구 정보의 위치가 안정적이어서, 지연된 검사점 이주 기법이 사용 가능하지만, 이동 확률이 높은 복구 정보 관리자나 이웃 호스트에 의한 검사점 관리 기법이 사용되는 경우에는 지연된 이주 기법을 사용하는 경우 복구 확률이 낮아 질 수 있다.

검사점 관리와 관련하여 고려되어야 할 또 다른 문제는 통신비용에 관한 문제이다. 통신비용이 높은 무선 환경을 고려해 보았을 때 검사점 관리 및 이주를 위한 통신비용은 적지 않을 것이다. 이러한 환경에 적합한 한 가지 검사점 설정 기법이 점진적 검사점 설정(incremental checkpointing) 기법이다. 이 기법을 사용하는 경우, 이동 호스트는 자신의 시스템 상태 S 를 몇 개의 부분 상태의 나눈다. 즉, $S=\{S1, S2, \dots, Si, \dots, Sn\}$ 으로 보고, 이동 호스트는 각 Si 에 대한 주기적 검사점 설정을 순서대로 진행한다. 이 경우, 이동 호스트의 결함 발생 시, 이동 호스트는 각 부분 상태에 대한 롤백 복구를 독립적으로 진행 시킬 수 있다. 이러한 점진적 검사점을 이용하는 경우, 각 검사점의 크기가 줄어들어 통신 비용을 줄일 수 있게 된다.

3.2 메시지 로그 관리

다음은 메시지 로그의 관리 방안 및 관리를 맡을 호스트에 관해 논의 한다.

▶ 로컬 로깅: 이동 호스트가 메시지 로그를 저장 할 만큼의 충분한 저장 공간을 확보하고 있다면, 각 이동 호스트에 의한 로그 관리가 가능하다. 이 경우는 메시지의 양이 적고, 각 메시지의 크기가 작은 경우에 해당된다.

▶ 지역적 관리: 검사점 관리의 경우와 마찬가지로 정적 또는 다수의 이동 확률이 적은 지역 관리자에 의한 로그 관리가 가능하다.

▶ 송신자 기반의 로깅: 각 이동 호스트가 전달 받은 메시지의 송신자는 해당 메시지의 사본을 통신 완료 시점까지 보관하게 되는데, 이 사본을 메시지 로그로 사용하는 방법이다. 즉, 각 메시지의 내용은 송신자에 의해 관리되고, 이동 호스트는 메시지의 식별자와 수신 순서만을 관리한다. 이 경우는 수신자인 이동 호스트에 의해 관리되는 정보의 양이 많지 않아 로그 관리가 쉬워지는 장점이 있다. 반면에 이동 호스트의 결함 발생 시 해당 송신자를 추적하여 로그를 받아 오는데 드는 비용이 상당히 커질 수가 있다.

▶ 이웃 호스트에 의한 관리: 검사점 관리의 경우와 마찬가지로 $k+1$ 개의 이웃 호스트들에 의해 메시지 로그를 중복 관리하는 방법도 있다. 일반적으로 메시지 로그의 경우는 각 호스트의 통신 빈도 및 통신 내용에 따라, 메시지 로그의 양이 달라지게 된다. 따라서 이동 호스트의 통신 형태에 따라 다양한 방법의 동적 적용이 바람직 할 것이다.

검사점 관리의 경우와 마찬가지로 메시지 로그의 경우에도 이동 호스트의 이주에 따라 메시지 로그의 이주 결정이 내려져야 하며, 역시 빠른 이주와 지연된 이주 방법이 사용 될 수 있다. 메시지 로그의 크기가 작고 몇몇 호스트에 그 내용이 분산 되어 있는 경우라면, 빠른 이주 기법의 적용도 가능 하겠지만, 메시지 로그의 크기가 크고, 여러 이동 호스트에 분산되어 있는 경우에는 빠른 로그 이주에 따른 통신 비용이 작지 않을 것이다.

이동 호스트의 통신 형태 이외에 메시지 로그의 양을 인위적으로 조절할 수 있는 한 가지 방법은 검사점 설정 주기를 조절하는 것이다. 독립적 롤백 복구가 가능한 경우, 메시지 로그는 가장 최근의 검사점 설정 이후 수신된 메시지들의 로그만을 보관하면 된다. 즉, 검사점 설정 주기가 짧아지면 보관하여야 하는 로그의 크기가 작아지며, 검사점 설정 주기가 길어지면 로그의 양이 늘어나게 된다. 따라서 검사점 설정 주기를 조절하여 메시지 로그의 저장 공간을 조절 할 수가 있다.

3.3 결함 환경 및 컴퓨팅 환경에 따른 결함 내성 서비스

다음은 다양한 결함 환경과 이동 호스트의 컴퓨팅 환경에 따른 결함 내성 기법의 선택 문제에 관해 논의한다. 먼저 표 1은 시스템 내 각 이동 호스트의 결함 발생 가능성과 예상되는 이동 주기에 따른 적절한 결함 내성 기법의 선택 가능성을 보인다.

결함 발생 가능성이 낮고, 이동 호스트의 이동이 간헐적으로 진행되는 경우에는 위에서 언급된 모든

검사점 기법 및 로깅 기법의 적용이 가능하다. 그러나 결함 발생 가능성이 높은 환경이라면, 송신자 기반 로깅 기법은 고려하지 말아야 한다. 왜냐하면, 대부분의 송신자 기반 로깅 기법에서는 송신자의 로그가 휘발성 메모리에 저장된다고 가정하기 때문이다. 즉, 송신자와 수신자 양측의 동시 결함 발생시에는 결함 복구가 불가능 해진다. 또한, 결함 발생 가능성이 높은 환경에서, 이웃 호스트에 의한 검사점 및 로그의 관리를 고려하는 경우에는 이웃 호스트들과의 통신 비용 문제를 반드시 함께 고려하여야 한다. 결함 발생 가능성이 높다는 말은 검사점 및 로그를 보관하는 이웃 호스트의 수, 즉 k 값을 높여야 한다는 뜻이다. 만약 이웃 호스트들과의 통신비용이 높은 경우, k 값을 높이는 것은 네트워크에 과도한 부담이 될 수도 있다.

가 보유한 저장 장소의 안정성을 확신 할 수 없는 경우라면, 고려 대상이 될 수 없다. 오히려, 송신자 기반의 로깅 기법에서는 메시지 로그가 송신자에 의해 관리되므로, 이동 호스트의 이동 주기와 관계없이 사용 가능하다.

표 1에 의하면, 모든 환경에서 적용 가능한 기법은 로컬 관리 기법으로 판단된다. 그러나 이 기법은 이동 호스트가 충분한 크기의 안정된 저장 장소를 확보해야하는 조건이 만족 되어야 하기 때문에 항상 고려 가능한 기법은 아니다. 결국, 이동 호스트가 보유한 저장 장소의 안정성, 이동 호스트의 이동 주기, 결함 발생 가능성 등을 고려한 종합적이 판단이 이루어져야 한다.

		이동 주기	
		느리다	빠르다
결함 발생 가능성	낮다	로컬 관리 지역적 관리 이웃 호스트에 의한 관리 송신자 기반 로깅	로컬 관리 지역적 관리 송신자 기반 로깅
	높다	로컬 관리 지역적 관리	로컬 관리 지역적 관리

(표 1) 컴퓨팅 환경에 따른 결함 내성 서비스

이에 반해, 이동 호스트의 이동이 빈번한 경우에는, 이웃 호스트에 의한 관리가 고려 대상에서 제외되어야 한다. 이동 호스트의 이동 주기가 짧다는 얘기는 검사점 및 로그를 저장할 이동 호스트의 수를 늘려야 한다는 뜻이며, 동시에 빈번한 이동에 따라 빈번하게 검사점 및 로그를 저장할 이웃 호스트의 집합을 교체하여야 한다는 뜻이다. 검사점 전달이나, 로그 전달에 따르는 통신비용 및 통신 시간을 고려해 볼 때, 검사점이나 로그의 저장이 채 완료되기 전에 해당 호스트의 이동이 발생 할 가능성도 있게 된다. 이동 호스트의 이동이 빈번한 환경에서 지역적 관리를 사용하게 될 경우에는 지역 관리자의 안정성과 인접성 등을 고려하여야 한다. 이동 호스트와 근접한 거리에 지역 관리자가 존재하여, 지역관리자 탐색에 소요되는 통신비용이 크지 않고, 지역 관리자가 보유한 저장 장소의 안정성이 확보되어, 이동 호스트의 이동시에도 검사점 및 로그의 장기 저장이 가능하다면, 이동 호스트의 이동이 빈번한 경우에도 지역적 관리는 가능하다. 그러나 지역관리자 탐색에 오랜 시간이 걸리는 경우나, 지역 관리자

4. 결론 및 향후 과제

본 논문은 이동 컴퓨팅 환경을 위해 제안된 결함 내성 기법들이 이동 애드-혹 네트워크 환경에 적용될 경우 발생 가능한 다양한 문제점들을 논의하고, 몇 가지 가능한 해결 방안들을 제안하였다. 현재 제안된 방안들의 실현 가능성을 알아보기 위해서는 이동 호스트의 다양한 이동 환경, 통신 환경 및 결함 환경에 따른 결함 내성 서비스의 소용 비용들을 조사하고, 최적의 구동 환경이 제시되어야 한다.

Acknowledgments

이 논문은 2005년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구 조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2005-041-D0074).

참고문헌

- [1] J.J.N. Liu and I. Chlamtac, "Mobile Ad hoc Networking with a View of 4G Wireless: Imperatives and Challenges," Mobile Ad Hoc Networking, Chapter 1, 2005, pp. 69-116.
- [2] N. Neves and W.K. Fuchs, "Adaptive Recovery for Mobile Environments," Communications of the ACM, Vol. 40, No. 1, 1997, pp. 68-74.
- [3] T. Park, "Mobile Agent based Fault-Tolerance Support for the Reliable Mobile Computing Systems," Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3454, 2005, pp. 173-187.
- [4] D.K. Pradhan, P. Krishna and N.H. Vaiday, "Recoverable Mobile Environment : Design and Trade-Off Analysis," Proc. of the 26th Int'l Symp. on Fault Tolerant Computing Systems, 1996, pp. 16-25.