

# 1. Phase 1: Theoretical exercise of TSAE protocol

## 1.1 TSAE protocol exercise (no purged log)

Lets suppose that there are 3 hosts (A, B, C) that use TSAE protocol to exchange operations. At the

initial time ( $t_0$ ) all hosts have the same state:

Summary A= A1, B2, C3 Log A= A1, B1, B2, C1, C2, C3

Summary B= A1, B2, C3 Log B= A1, B1, B2, C1, C2, C3

Summary C= A1, B2, C3 Log C= A1, B1, B2, C1, C2, C3

A1 means that it is the first operation from host A. B1 means that it is the first operation from host

B, B2 means that it is the second operation from host B, and so on.

Suppose that each anti-entropy session starts and ends at the same instant.

1. Show for each case (a and b):

- The data structures and operations exchanged during the anti-entropy sessions
- The data structures (log and summary) at each host after each anti-entropy session
- Indicate if final state is consistent, i.e. all hosts have received the same operations. In case it is not consistent, indicate which sessions should be done to reach a consistent state.

(Note: log is not purged)

**a)**

- At time  $t_1$ , host A executes operation A2
- At time  $t_2$ , host B does an anti-entropy session with host C
- At time  $t_3$ , host B executes operation B3
- At time  $t_4$ , host B executes operation B4
- At time  $t_5$ , host A does an anti-entropy session with host C
- At time  $t_6$ , host B executes operation B5
- At time  $t_7$ , host C executes operation C4
- At time  $t_8$ , host B executes operation B6
- At time  $t_9$ , host C does an anti-entropy session with host A
- At time  $t_{10}$ , host A executes operation A3
- At time  $t_{11}$ , host C executes operation C5
- At time  $t_{12}$ , host B does an anti-entropy session with host A

**t1) host A ejecuta operación A2**

Summary A = **A2**, B2, C3      Log A= A1, **A2**, B1, B2, C1, C2, C3

Summary B = A1, B2, C3      Log B= A1, B1, B2, C1, C2, C3

Summary C = A1, B2, C3      Log C= A1, B1, B2, C1, C2, C3

## **t2) host B hace sesión de anti-entropía con host C**

Summary B= A1, B2, C3      Operaciones enviadas por B = ninguna

Summary C= A1, B2, C3      Operaciones enviadas por C = ninguna

### DESPUÉS DE LA SESIÓN DE ANTI-ENTROPÍA:

Summary A = A2, B2, C3      Log A = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3

Summary B = A1, B2, C3      Log B = A1, B1, B2, C1, C2, C3

Summary C = A1, B2, C3      Log C = A1, B1, B2, C1, C2, C3

## **t3) host B ejecuta operación B3**

Summary A = A2, B2, C3      Log A = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3

Summary B = A1, **B3**, C3      Log B = A1, B1, B2, **B3**, C1, C2, C3

Summary C = A1, B2, C3      Log C = A1, B1, B2, C1, C2, C3

## **t4) host B ejecuta operación B4**

Summary A = A2, B2, C3      Log A = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3

Summary B = A1, **B4**, C3      Log B = A1, B1, B2, B3, **B4**, C1, C2, C3

Summary C = A1, B2, C3      Log C = A1, B1, B2, C1, C2, C3

## **t5) host A hace sesión de anti-entropía con host C**

Summary A= A2, B2, C3      operaciones enviadas por A = A2

Summary C= A1, B2, C3      operaciones enviadas por C = ninguna

### DESPUÉS DE LA SESIÓN DE ANTI-ENTROPÍA:

Summary A = A2, B2, C3	Log A = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3
Summary B = A1, B4, C3	Log B = A1, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3
Summary C = <b>A2</b> , B2, C3	Log C = A1, <b>A2</b> , B1, B2, C1, C2, C3

#### **t6) host B ejecuta operación B5**

Summary A = A2, B2, C3	Log A = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3
Summary B = A1, <b>B5</b> , C3	Log B = A1, B1, B2, B3, B4, <b>B5</b> , C1, C2, C3
Summary C = A2, B2, C3	Log C = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3

#### **t7) host C ejecuta operación C4**

Summary A = A2, B2, C3	Log A = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3
Summary B = A1, B5, C3	Log B = A1, B1, B2, B3, B4, B5, C1, C2, C3
Summary C = A2, B2, <b>C4</b>	Log C = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3, <b>C4</b>

#### **t8) host B ejecuta operación B6**

Summary A = A2, B2, C3	Log A = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3
Summary B = A1, <b>B6</b> , C3	Log B = A1, B1, B2, B3, B4, B5, <b>B6</b> , C1, C2, C3
Summary C = A2, B2, C4	Log C = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3, C4

#### **t9) host C hace sesión de anti-entropía con host A**

Summary C= A2, B2, C4	operaciones enviadas por C = C4
Summary A= A2, B2, C3	operaciones enviadas por A = ninguna

DESPUÉS DE LA SESIÓN DE ANTI-ENTROPÍA:

Summary A = A2, B2, <b>C4</b>	Log A = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3, <b>C4</b>
Summary B = A1, B6, C3	Log B = A1, B1, B2, B3, B4, B5, B6, C1, C2, C3
Summary C = A2, B2, C4	Log C = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3, C4

**t10) host A ejecuta operación A3**

Summary A = <b>A3</b> , B2, C4	Log A = A1, A2, <b>A3</b> , B1, B2, C1, C2, C3, C4
Summary B = A1, B6, C3	Log B = A1, B1, B2, B3, B4, B5, B6, C1, C2, C3
Summary C = A2, B2, C4	Log C = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3, C4

**t11) host C ejecuta operación C5**

Summary A = A3, B2, C4	Log A = A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2, C3, C4
Summary B = A1, B6, C3	Log B = A1, B1, B2, B3, B4, B5, B6, C1, C2, C3
Summary C = A2, B2, <b>C5</b>	Log C = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3, C4, <b>C5</b>

**t12) host B hace sesión de anti-entropía con host A**

Summary B= A1, B6, C3	operaciones enviadas por B = B3, B4, B5, B6
Summary A= A3, B2, C4	operaciones enviadas por A = A2, A3, C4

DESPUÉS DE LA SESIÓN DE ANTI-ENTROPÍA:

Summary A = A3, <b>B6</b> , C4	Log A = A1, A2, A3, B1, B2, <b>B3, B4, B5, B6</b> , C1, C2, C3, C4
Summary B = <b>A3</b> , B6, <b>C4</b>	Log B = A1, <b>A2, A3</b> , B1, B2, B3, B4, B5, B6, C1, C2, C3, <b>C4</b>
Summary C = A2, B2, C5	Log C = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3, C4, C5

Estado final **NO CONSISTENTE**. Para alcanzar la consistencia podría hacerse de varias maneras por ejemplo:

- Host C necesita hacer sesión de anti-entropía con host A
- Host C necesita hacer sesión de anti-entropía con host B

## b)

- At time  $t_1$ , host A executes operation A2
- At time  $t_2$ , host B executes operation B3
- At time  $t_3$ , host A executes operation A3
- At time  $t_4$ , host C executes operation C4
- At time  $t_5$ , host A executes operation A4
- At time  $t_6$ , host A does an anti-entropy session with host C
- At time  $t_7$ , host C does an anti-entropy session with host B
- At time  $t_8$ , host B does an anti-entropy session with host A

### t1) host A ejecuta operación A2

Summary A= **A2**, B2, C3      Log A= A1, **A2**, B1, B2, C1, C2, C3

Summary B= A1, B2, C3      Log B= A1, B1, B2, C1, C2, C3

Summary C= A1, B2, C3      Log C= A1, B1, B2, C1, C2, C3

### t2) host B ejecuta operación B3

Summary A = A2, B2, C3      Log A = A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3

Summary B = A1, **B3**, C3      Log B = A1, B1, B2, **B3**, C1, C2, C3

Summary C = A1, B2, C3      Log C = A1, B1, B2, C1, C2, C3

### T3) host A ejecuta operación A3

Summary A = **A3**, B2, C3      Log A = A1, A2, **A3**, B1, B2, C1, C2, C3

Summary B = A1, B3, C3      Log B = A1, B1, B2, B3, C1, C2, C3

Summary C = A1, B2, C3      Log C = A1, B1, B2, C1, C2, C3

#### t4) host C ejecuta operación C4

Summary A = A3, B2, C3      Log A = A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2, C3

Summary B = A1, B3, C3      Log B = A1, B1, B2, B3, C1, C2, C3

Summary C = A1, B2, **C4**      Log C = A1, B1, B2, C1, C2, C3, **C4**

#### t5) host A ejecuta operación A4

Summary A = **A4**, B2, C3      Log A = A1, A2, A3, **A4**, B1, B2, C1, C2, C3

Summary B = A1, B3, C3      Log B = A1, B1, B2, B3, C1, C2, C3

Summary C = A1, B2, C4      Log C = A1, B1, B2, C1, C2, C3, C4

#### t6) host A hace sesión de anti-entropía con host C

Summary A= A4, B2, C3      operaciones enviadas por A = A2, A3, A4

Summary C= A1, B2, C4      operaciones enviadas por C = C4

#### DESPUÉS DE LA SESIÓN DE ANTI-ENTROPÍA:

Summary A = A4, B2, **C4**      Log A = A1, A2, A3, A4, B1, B2, C1, C2, C3, **C4**

Summary B = A1, B3, C3      Log B = A1, B1, B2, B3, C1, C2, C3

Summary C = **A4**, B2, C4      Log C = A1, **A2**, **A3**, **A4**, B1, B2, C1, C2, C3, C4

#### t7) host C hace sesión de anti-entropía con host B

Summary C= A4, B2, C4      operaciones enviadas por C = A2, A3, A4, C4

Summary B= A1, B3, C3      operaciones enviadas por B = B3

### DESPUÉS DE LA SESIÓN DE ANTI-ENTROPÍA:

Summary A = A4, B2, C4	Log A = A1, A2, A3, A4, B1, B2, C1, C2, C3, C4
Summary B = <b>A4</b> , B3, <b>C4</b>	Log B = A1, <b>A2</b> , <b>A3</b> , <b>A4</b> , B1, B2, B3, C1, C2, C3, <b>C4</b>
Summary C = A4, <b>B3</b> , C4	Log C = A1, A2, A3, A4, B1, B2, <b>B3</b> , C1, C2, C3, C4

### **t8) host B hace sesión de anti-entropía con host A**

Summary B= A4, B3, C4	operaciones enviadas por B = B3
Summary A= A4, B2, C4	operaciones enviadas por A = ninguna

### DESPUÉS DE LA SESIÓN DE ANTI-ENTROPÍA:

Summary A = A4, <b>B3</b> , C4	Log A = A1, A2, A3, A4, B1, B2, <b>B3</b> , C1, C2, C3, C4
Summary B = A4, B3, C4	Log B = A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, C1, C2, C3, C4
Summary C = A4, B3, C4	Log C = A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, C1, C2, C3, C4

Estado final **CONSISTENTE**.

## **1.2 TSAE protocol exercise (purged log)**

Imagine a situation with 5 hosts with unsynchronized clocks and purging of the log. Hosts A and D

have the following content:

AckSummary A=

A:{A5, B5, C2, D2, E5}

B:{A4, B5, C1, D1, E1}

C:{A5, B4, C2, D1, E2}

D:{A2, B3, C1, D2, E3}

E:{A1, B2, C1, D0, E5}

AckSummary D=

A:{A1, B1, C0, D1, E1}

B:{A2, B3, C1, D1, E2}

C:{A1, B2, C2, D0, E3}

D:{A4, B3, C2, D3, E6}

E:{A4, B1, C1, D0, E6}

a) Which is the content of Log in host A?

Tendremos que mirar en AckSummary A en las columnas, y coger el máximo y el mínimo, si es distinto tenemos que coger el mínimo y sumarle 1 hasta el número máximo que tenga la columna. Si el número máximo y mínimo es el mismo no se coge nada. Por ejemplo, la primera columna incluye A5, A4, A5, A2, A1 tenemos A1 (mínimo) y A5 (máximo) pues tendremos que coger el (mínimo)  $A1+1=A2$  hasta A5 (máximo) osea tendremos de la primera columna A2, A3, A4 y A5 y así con las sucesivas columnas.

Contenido Log A = {A2, A3, A4, A5, B3, B4, B5, C2, D1, D2, E2, E3, E4, E5}

b) Which is the content of Log in host D?

A and D do an anti-entropy session. During the session both know who is each other (this is different from the algorithm in the Golding thesis).

Hacemos lo mismo que en el log A

Contenido Log D = {A2, A3, A4, B2, B3, C1, C2, D1, D2, D3, E2, E3, E4, E5, E6}

c) Which operations are exchanged during the anti-entropy session?

Summary A = A5, B5, C2, D2, E5    Log A = A2, A3, A4, A5, B3, B4, B5, C2, D1, D2, E2, E3, E4, E5

Summary D = A4, B3, C2, D3, E6    Log D = A2, A3, A4, B2, B3, C1, C2, D1, D2, D3, E2, E3, E4, E5, E6

Operaciones enviadas por A= A5, B4, B5

Operaciones enviadas por D= D3, E6

Resultado después de sesión anti-entropía:

Summary A= A5, B5, C2, D3, E6

Summary D= A5, B5, C2, D3, E6

d) Which AckSummary and log have each host after ending the session?

AckSummaryA    A: {A5, B5, C2, D3, E6}  
                    B: {A4, B5, C1, D1, E2}  
                    C: {A5, B4, C2, D1, E3}  
                    D: {A5, B5, C2, D3, E6}  
                    E: {A4, B2, C1, D0, E6}



AckSummaryD A: {A5, B5, C2, D3, E6}  
B: {A4, B5, C1, D1, E2}  
C: {A5, B4, C2, D1, E3}  
D: {A5, B5, C2, D3, E6}  
E: {A4, B2, C1, D0, E6}

Y hacemos lo mismo que en el apartado a) y b)

Log A = {A5, B3, B4, B5, C2, D1, D2, D3, E3, E4, E5, E6}

Log D = {A5, B3, B4, B5, C2, D1, D2, D3, E3, E4, E5, E6}

### 1.3 TSAE protocol exercise (optional)

How many sessions does a group of nodes need to converge? Explain your answer. Suppose that there is no operation generation during all the convergence period. This is an open question and may have many correct answers as long as you provide solid arguments.

Eligiendo el peor de los casos: N hosts todos ellos actualizados pero ninguno con sesión anti-entropía establecida entre ellos anteriormente. Al finalizar una sesión entre un par de hosts tendrán el mismo log, summary y acknowledgement (log, resumen y reconocimiento). Estos hosts podemos decir que están sincronizados.

Una vez terminada la sesión establecida de uno de estos hosts con otro diferente, el primer nodo puede establecer sesión con otro distinto y volver a estar sincronizado con este último, por lo que el host de la sesión anterior ya caducada perderá la sincronización porque fallarán las actualizaciones desde el nuevo host sincronizado.

Podremos decir entonces que por lo menos N-1 sesiones harán falta para que un solo host pueda recibir todas las actualizaciones de todos los hosts que componen el sistema que formen. Igualmente, como producto de esa última sesión el otro host será actualizado.

Podemos decir que, después de N-1 sesiones, 2 hosts estarán completamente actualizados y los hosts N-2 restantes necesitarán ser actualizados.

Como tenemos dos nodos completamente actualizados, será suficiente con una sola sesión entre cada uno de los hosts desactualizados y un host completamente actualizado con la finalidad de actualizar completamente todos ellos. Eso es que necesitaremos N-2 sesiones para actualizar esos hosts restantes.

Básicamente, en el peor de los casos se necesitarán  $(N - 1) + (N - 2) = 2N - 3$  sesiones anti-entropía para juntar un sistema de N hosts.