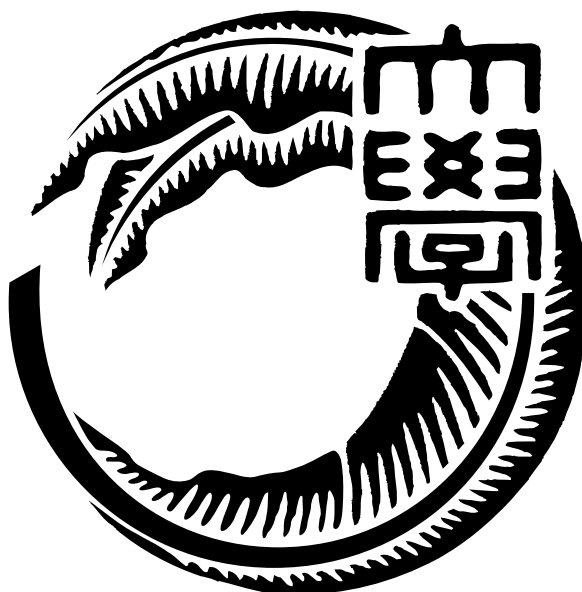


令和元年度 卒業論文

CbC による xv6 の FileSystem の書き換え



琉球大学工学部情報工学科

165723C 坂本昂弘

指導教員 河野真治

目次

第1章	xv6 の OS の信頼性保証	1
第2章	Continuation based C	2
2.1	Continuation based C の概要	2
2.2	CodeGear	2
2.3	DataGear	4
2.4	Meta CodeGear と Meta DataGear	4
第3章	GearsOS	5
3.1	GearsOS の概要	5
3.2	Context	5
3.3	Inetrface	6
第4章	xv6	7
4.1	xv6 の概要	7
4.2	xv6 の FileSystem	7
4.3	FilleSystem の API	9
第5章	CbC による FileSystem の書き換え	11
5.1	書き換え方針	11
5.2	FileSystem の Interface の定義	11
5.3	FileSystem の Interface の実装	12
5.4	FileSystem の Interface の private な実装	15
第6章	まとめと今後の課題	19

目 次

2.1	CodeGear 間の継続	2
2.2	ソースコード 2.1 が表している CodeGear の状態遷移	3
2.3	CodeGear と DataGear	4
2.4	メタレベルの処理を可視化した CodeGear と DataGear	4
3.1	CodeGear、DataGear、context の関係図	5
3.2	Stack の Interface とその実装	6
4.1	xv6 の FileSystem Layer	8
4.2	Disk 階層 のブロック割り当て	9
5.1	xv6 FileSystem の Interface と実装	11
5.2	allocinode の ループによる遷移図	17

ソースコード目次

2.1	CodeGear の継続の例	3
5.1	FileSystem の Interface (fs.dg 一部抜粋)	12
5.2	FileSystem の Interface の実装 (fs_impl.cbc 一部抜粋)	12
5.3	fs private のヘッダーファイル (fs_impl.h 一部抜粋)	15
5.4	iallocfs_impl の実装	15
5.5	iallocfs_impl の private 実装	15
6.1	FileSystem の Interface	22
6.2	fs private のヘッダーファイル	22
6.3	fs Interface の実装	24
6.4	fs Interface の private 実装	29

第1章 xv6 の OS の信頼性保証

OS には信頼性の保証と拡張性の実現が求められている。信頼性をノーマルレベルの計算に対して保証し、拡張性をメタレベルの計算で実現することを目標に Continuation based C (CbC) を用いて Gears OS を開発中である。前段階としてシンプルであるがプロセス、仮想メモリ、カーネルとユーザーの分離、割り込み、ファイルシステムなど Unix の基本的な構造を持っている OS である xv6 を CbC で書き換えている。CbC は Code Gear という基本的な処理の単位と Data Gear というデータの単位を用いる。細かい処理に対してノーマルレベルとメタレベルの Code Gear を記述し、stack に値を積む事なく CodeGear 間を遷移することができる。stack が無い事によって OS 内部の明確化が実現できる。Code Gear に対して入力 Data Gear と出力 Data Gear が存在し、入力に対して期待される出力がされてるか検査することで信頼性を保証する。CbC の Interface は Gears OS のモジュール化の仕組みである。この Interface は、Java の Interface や Haskell の型クラスに対応し、導入することで仕様と実装に分けて記述することが出来る。Interface を使うことで検証や機能の入れ替えによる拡張が可能となる。本論文では、xv6 の FileSystem を CbC によって書き換えることにより複雑な処理である FileSystem を明確化させ信頼性を保証、Interface を使用可能とすることで拡張性を実現することを目標とする。

第2章 Continuation based C

2.1 Continuation based C の概要

Continuation based C [1] (以下 CbC) は基本的な処理単位を CodeGear として定義し、CodeGear 間で遷移するようにプログラムを記述する C 言語と互換性のある当研究室で開発されたプログラミング言語である。図 2.1 は CodeGear 間の継続する際の処理の流れを示している。

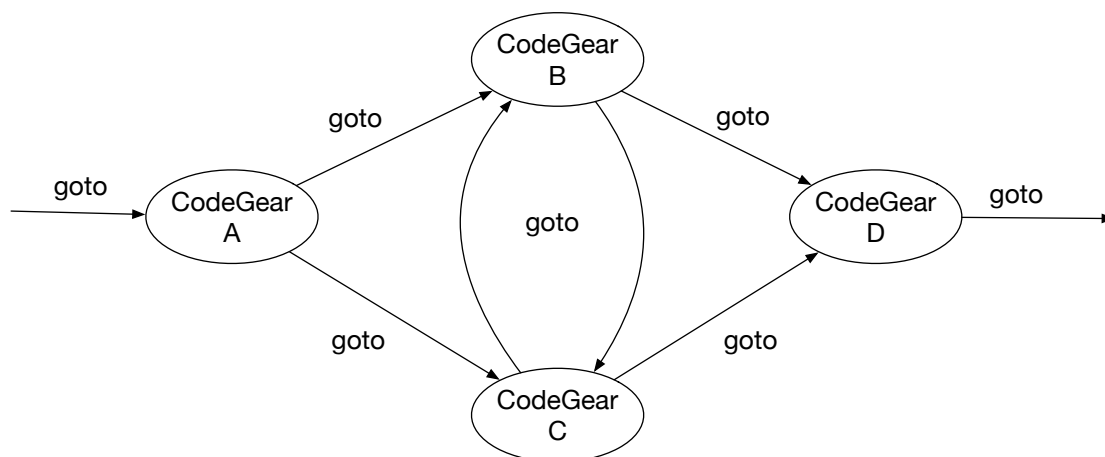


図 2.1: CodeGear 間の継続

また、プログラムを記述する際、ノーマルレベルの記述と別にメモリ管理、スレッド管理など記述しなければならない処理が存在する。これらをメタ計算と呼ぶ。CbC の CodeGear、DataGear にはそれぞれ Meta CodeGear、Meta DataGear と呼ばれるメタレベルの単位が存在する。これらを用いることによってメタ計算を実現し、OS の信頼性を保証できる。

現在 CbC は C コンパイラである GCC[2] [3] 及び LLVM[4] [5] をバックエンドとした clang 上で実装されている。本研究では、このプログラミング言語を用いて xv6 の Filesystem を書き換える。

2.2 CodeGear

CodeGear は CbC における基本的な処理単位である。以下のソースコード 2.1 は CodeGear の継続の例である。

ソースコード 2.1: CodeGear の継続の例

```
1 __code cg0(Integer a, Integer b){
2   int a_v = a->value;
3   int b_v = b->value;
4   Integer c = {a_v + b_v};
5   goto cg1(c);
6 }
7 __code cg1(Integer c){
8   goto cg2(c);
9 }
```

CodeGear は `__code CodeGear 名 (引数)` の形で記述される。CodeGear は戻り値を持たない為、関数内で処理が終了すると呼び出し元の関数に戻ることがなく別の CodeGear へ遷移する。ソースコード 2.1 の 5 行目の `goto cg1(c);` や 8 行目の `goto cg2(c);` などがこれにあたる。図 2.2 はソースコード 2.1 の状態遷移を表している。

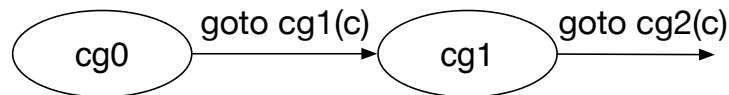


図 2.2: ソースコード 2.1 が表している CodeGear の状態遷移

また CbC における CodeGear 間の継続にはスタックが使用されず、呼び出し元の環境などを持たない為軽量継続と呼ぶ。この CbC における CodeGear 間の継続にスタックが使用されない性質は信頼性の高い OS の開発に適している。

2.3 DataGear

DataGear は CbC におけるデータの基本的な単位である。CodeGear は Input DataGear、Output DataGear を引数に持ち、図 2.3 で示すように遷移する際に任意の Input DataGear を参照し、Output DataGear を書き出す。

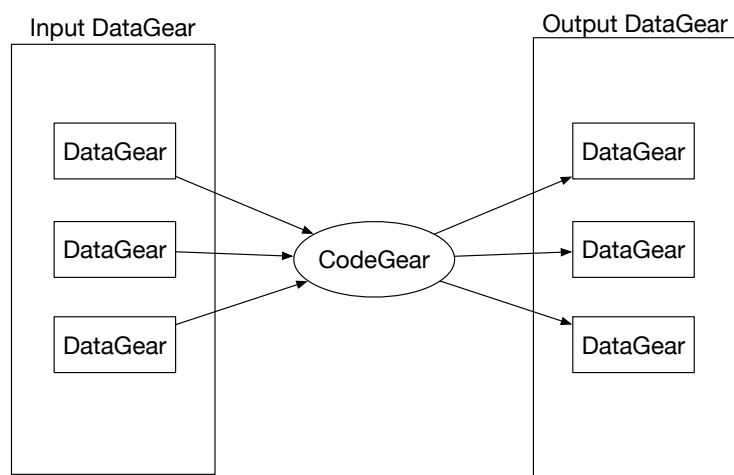


図 2.3: CodeGear と DataGear

2.4 Meta CodeGear と Meta DataGear

Meta Code Gear は図 2.4 で示すようにノーマルレベルの Code Gear の直後に遷移され、メタ計算を実行する。

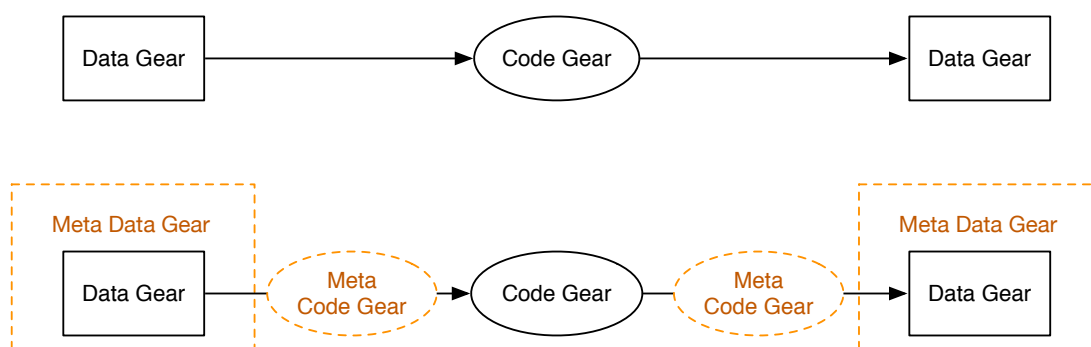


図 2.4: メタレベルの処理を可視化した CodeGear と DataGear

Meta Data Gear は CbC の 接続可能な Code Gear、Data Gear のリストであり Data Gear を確保するメモリ空間でもある。ノーマルレベルからの書き換えやアクセスを防ぐために存在している。GearsOS の Context がこれにあたる。

第3章 GearsOS

3.1 GearsOS の概要

Gears OS [6] は CbC によって記述されており、CodeGear と DataGear の単位を用いて開発されている OS である。Gears OS は一連の実行が行われる際に使用される CodeGear と DataGear を全て持つ Context と呼ばれるものを持っている。Gears OS は CodeGear 間の継続などの際、常に context を持ち歩いており CodeGear と DataGear の参照が必要になる場合、この Context を通して参照される。

3.2 Context

Context とは一連の実行が行われる際に使用される CodeGear と DataGear の集合である。従来のスレッドやプロセスに対応する。Context は接続可能な CodeGear、Data Gear のリスト、Data Gear を確保するメモリ空間、実行される Task への Code Gear 等を持っている。CodeGear が別の CodeGear に遷移する際、必ず context を参照し enum で定義された CodeGear の番号を指定し遷移する。ノーマルレベルで見た際の CodeGear、DataGear および context の関係を以下の図 3.1 に簡潔に示す。

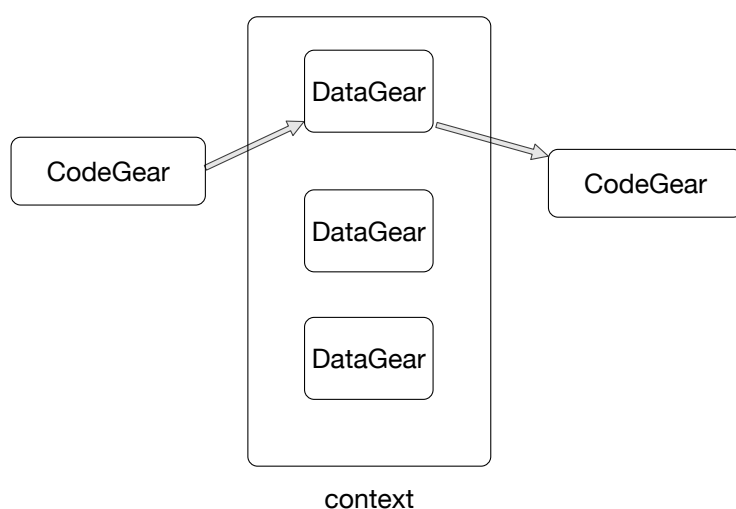


図 3.1: CodeGear、DataGear、context の関係図

3.3 Inetrface

Interface は Gears OS のモジュール化の仕組みである。Interface は呼び出しの引数になる Data Gear の集合であり、そこで呼び出される Code Gear のエントリである。呼び出される Code Gear の引数となる Data Gear はここで全て定義される。Interface を定義することで複数の実装を持つことができる。この Interface は、Java の Interface や Haskell の型クラスに対応し、導入することで仕様と実装に分けて記述することが出来る。図 3.2 は Stack の Interface とその実装を表したものである。

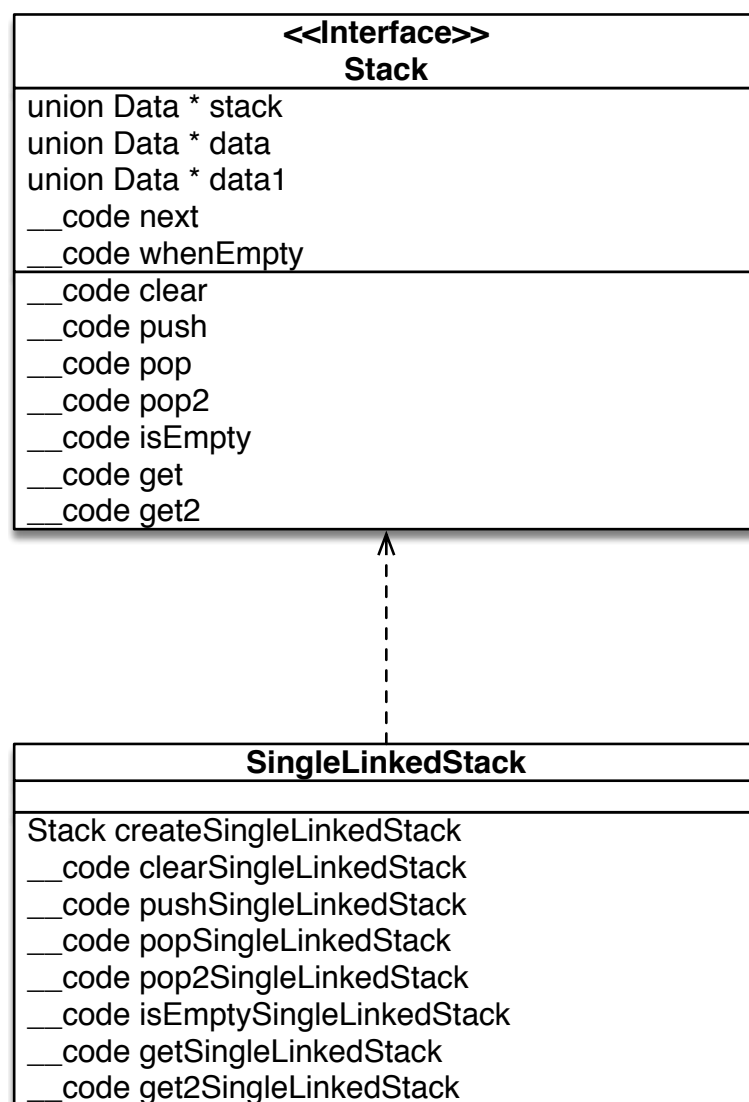


図 3.2: Stack の Interface とその実装

第4章 xv6

4.1 xv6 の概要

xv6 [7] とは MIT のオペレーティングコースの教育目的で 2006 年に開発されたオペレーティングシステムである。xv6 はオリジナルである v6 が非常に古い C 言語で書かれている為、ANSI-C に書き換えられ x86 に再実装された。xv6 は read や write などの systemcall、プロセス、仮想メモリ、カーネルとユーザーの分離、割り込み、ファイルシステムなど Unix の基本的な構造を持っている。本研究で使われているのは ARM[8] 上で動作する Raspberry Pi 用に改良された xv6 を使用する。

4.2 xv6 の FileSystem

FileSystem とは、コンピュータの資源を操作するための OS が持つ機能のことである。ファイルといえば記憶装置内に格納されている情報を指すが、xv6 の FileSystem は、デバイスやプロセス、カーネル内の処理をする際の情報などをファイルとして扱う。OS ごとに利用している FileSystem は異なるが、一部の OS を除きほとんどの OS には FileSystem が存在する。xv6 の FileSystem は図 4.1 のように 7 つの階層によって構成されている。

File descriptor
Pathname
Directory
Inode
Logging
Buffer cache
Disk

図 4.1: xv6 の FileSystem Layer

Disk 階層は、IDE ハードドライブ上のブロックを読み書きする。Buffer cache 階層はディスクブロックをキャッシュし、ブロックのアクセスの同期を取り、データが格納されている特定のブロックについて、複数のブロックが同時に変更を行っていないことを保証する。つまり、プロセス間の調停を行なっている。Logging 階層は高位の階層のいくつかのブロックの更新操作をトランザクションとしてラップし、またクラッシュが発生した場合でも、ブロックがシステムの他の部分から見てそれらがひとつの操作に見えるように更新されるようにする。inode 階層は個々のファイルを提供している。各ファイルは一意的な i-number とファイルのデータを保持するいくつかのブロックを持つ inode として表されている。Directory 階層はいくつかのディレクトリを構成している。ディレクトリの inode はディレクトリのエントリ列が含まれており、各エントリにはファイル名と i-number が入っている。Pathname 階層は、`/usr/rtn/xv6/fs.c` のような階層的なパスを構成している。File descriptor 階層は Unix の資源をファイルとして表現し、コンソールのようなデバイスはもちろん、実際のファイルもファイルとして表現している。

FileSytem は処理の際に Disk 階層のブロックを利用している。Disk 階層のブロックがどのように割り当てられているか図 4.2 に示す。

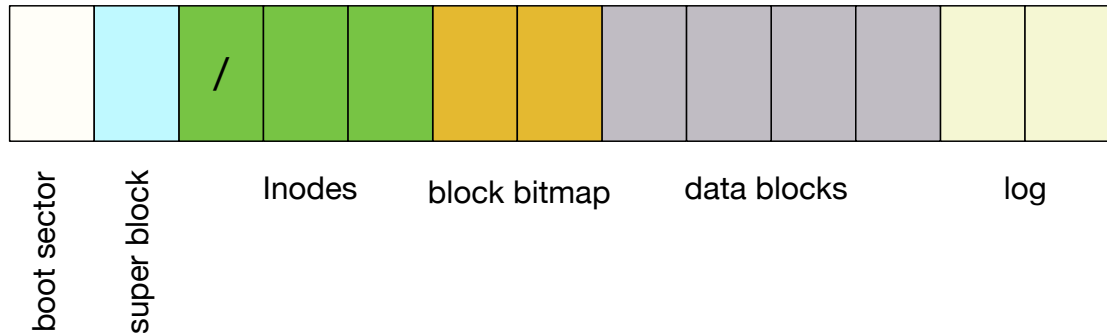


図 4.2: Disk 階層 のブロック割り当て

boot sector はシステムを起動するためのものであるが、FileSystem がこのブロックを使用することはない。super block はブロックのファイルサイズやデータブロックの数、inode の数、log 中のブロック数などが格納されている。inodes は inode に関するリストが格納されている。block bitmap は使用しているブロックが記憶されている。data blocks は block bitmap において使用可能であることが記録されており、ファイルやディレクトリが保持されている。Logging 階層の log が格納されている。

4.3 FileSystem の API

FileSystem について記述している fs.c ではファイルを操作、管理する際に様々な関数がプロセスやデバイスなどから呼び出され使用されている。fs.c に存在している関数とその挙動に関して具体的に以下に示す。

- readsb
ブロックのファイルサイズやデータブロックの数、inode の数、log 中のブロック数などが格納されている super block を読み込む。
- iinit
- ialloc
デバイスで指定されたタイプを新しい inode に割り当てる。
- iupdate
変更されたメモリ内の inode をディスクにコピーする。
- idup
IP の参照カウントをインクリメントする。

- `ilock`
指定した `inode` をロックする。またその際に必要であるならば、ディスクから `inode` を読み込む。
- `iunlock`
指定された `inode` のロックを解除する。
- `iput`
メモリ内の `inode` への参照を削除する。
- `iunlockput`
指定された `inode` のロックを解除してから `iput` を実行する。
- `stat`
`inode` から ファイルに関する統計情報を複製する。
- `readi`
`inode` からデータを読み込む。
- `writei`
`inode` へデータを書き込む。
- `namecmp`
- `dirlookup`
ディレクトリ内のディレクトリエントリを探す。
- `dirlink`
新しいディレクトリエントリ（名前、`inum`）をディレクトリ `dp` に書き込む。
- `namei`
- `nameiparent`

これらの API の CbC による書き換えを次章で説明する。

第5章 CbCによるFileSystemの書き換え

5.1 書き換え方針

FileSystem の処理は複雑である。FileSystem が記述されている fs.c で定義されている関数を CbC によって書き換えることにより処理の明確化と信頼性の保証をしたい。そのために if 文の中に if 文がある場合や for 文がある場合には処理を細かく分離してやり分かりやすくする。また、CbC の Interface を用いることにより仕様と実装を分離し拡張性を実現する。

5.2 FileSystem の Interface の定義

Interface はある Data Gear の定義と、それに対する操作を行う Code Gear の 集合を表現する Meta Data Gear である。Context では全ての Code Gaer と Data Gear の集合を表現していることに対し、Interface は一部の Code Gear と一部の Data Gear の集合を表現する。図 5.1 で表されている通り、FileSystem においても Interface で定義した CodeGear と実装側の CodeGear は対応している。

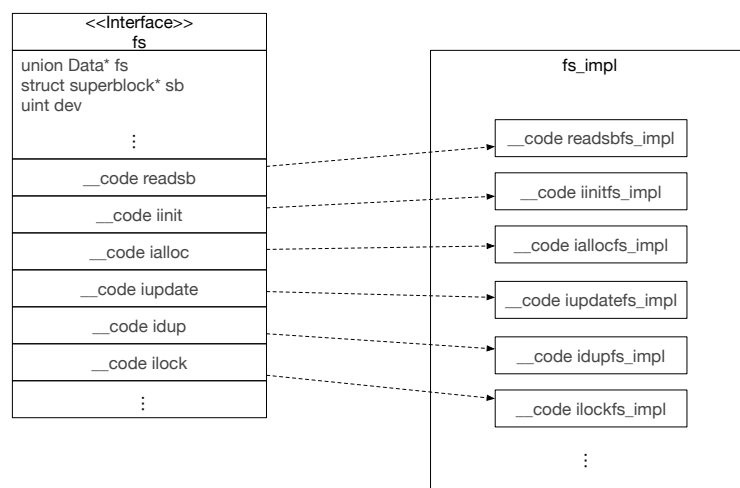


図 5.1: xv6 FileSystem の Interface と実装

FileSystem の Interface を記述したコードをソースコード 5.1 に示す。

ソースコード 5.1: FileSystem の Interface (fs.dg 一部抜粋)

```
1 typedef struct fs<Type,Impl> {
2     __code readsb(Impl* fs, uint dev, struct superblock* sb, __code next(...));
3     __code iinit(Impl* fs, __code next(...));
4     __code ialloc(Impl* fs, uint dev, short type, __code next(...));
5     __code iupdate(Impl* fs, struct inode* ip, __code next(...));
6     __code idup(Impl* fs, struct inode* ip, __code next(...));
7     __code ilock(Impl* fs, struct inode* ip, __code next(...));
8     __code iunlock(Impl* fs, struct inode* ip, __code next(...));
9     __code iput(Impl* fs, struct inode* ip, __code next(...));
10
11     ....
12
13 } fs;
```

1 行目で Interface 名を定義している。typedef struct の後に Interface 名 (今回は fs) を書く。CodeGear は __code CodeGear 名 (引数) の形で記述する。第一引数である Impl* fs が CodeGear の型、第二引数以降は Interface の実装時に利用する CodeGear が必要とする引数が入る。CodeGaer は 2 行目から 9 行目のように " __code [CodeGear 名]([引数]) " で記述する。この引数が input Data Gear になる。

5.3 FileSystem の Interface の実装

Interface の実装はソースコード 5.2 で示すように Interface とは別に定義する。

ソースコード 5.2: FileSystem の Interface の実装 (fs_impl.cbc 一部抜粋)

```
1 #interface "Err.h"
2 #interface "fs.dg"
3
4 fs* createfs_impl(struct Context* cbc_context) {
5     struct fs* fs = new fs();
6     struct fs_impl* fs_impl = new fs_impl();
7     fs->fs = (union Data*)fs_impl;
8     fs_impl->fs_impl = NULL;
9     fs_impl->sb = NULL;
10    fs_impl->ret = 0;
11    fs_impl->dev = 0;
12    fs_impl->type = 0;
13    fs_impl->bp = NULL;
14    fs_impl->dip = NULL;
15    fs_impl->inum = 0;
16    fs_impl->dp = NULL;
17    fs_impl->name = NULL;
18    fs_impl->off = 0;
19    fs_impl->poff = NULL;
20    fs_impl->de = NULL;
21    fs_impl->tot = 0;
22    fs_impl->m = 0;
23    fs_impl->dst = NULL;
24    fs_impl->n = 0;
25    fs_impl->src = NULL;
26    fs_impl->allocinode = C_allocinode;
27    fs_impl->allocinode_loop = C_allocinode_loop;
28    fs_impl->allocinode_loopcheck = C_allocinode_loopcheck;
29    fs_impl->allocinode_noloop = C_allocinode_noloop;
30    fs_impl->lockinode1 = C_lockinode1;
31    fs_impl->lockinode2 = C_lockinode2;
```



```

32     fs_impl->lockinode_sleepcheck = C_lockinode_sleepcheck;
33     fs_impl->input_check = C_input_check;
34     fs_impl->input_inode_nolink = C_input_inode_nolink;
35     fs_impl->readi_check_diskinode = C_readi_check_diskinode;
36     fs_impl->readi_loopcheck = C_readi_loopcheck;
37     fs_impl->readi_loop = C_readi_loop;
38     fs_impl->readi_noloop = C_readi_noloop;
39     fs_impl->writei_check_diskinode = C_writei_check_diskinode;
40     fs_impl->writei_loopcheck = C_writei_loopcheck;
41     fs_impl->writei_loop = C_writei_loop;
42     fs_impl->writei_noloop = C_writei_noloop;
43     fs_impl->dirlookup_loopcheck = C_dirlookup_loopcheck;
44     fs_impl->dirlookup_loop = C_dirlookup_loop;
45     fs_impl->dirlookup_noloop = C_dirlookup_noloop;
46     fs_impl->dirlink_namecheck = C_dirlink_namecheck;
47     fs_impl->dirlink_loopcheck = C_dirlink_loopcheck;
48     fs_impl->dirlink_loop = C_dirlink_loop;
49     fs_impl->dirlink_noloop = C_dirlink_noloop;
50     fs->readsb = C_readsbfs_impl;
51     fs->iinit = C_iinitfs_impl;
52     fs->ialloc = C_iallocfs_impl;
53     fs->iupdate = C_iupdatefs_impl;
54     fs->idup = C_idupfs_impl;
55     fs->ilock = C_ilockfs_impl;
56     fs->iunlock = C_iunlockfs_impl;
57     fs->input = C_inputfs_impl;
58     fs->iunlockput = C_iunlockputfs_impl;
59     fs->stati = C_statifs_impl;
60     fs->readi = C_readifs_impl;
61     fs->writei = C_writeifs_impl;
62     fs->namecmp = C_namecmpfs_impl;
63     fs->dirlookup = C_dirlookupfs_impl;
64     fs->dirlink = C_dirlinkfs_impl;
65     fs->namei = C_nameifsf_impl;
66     fs->nameiparent = C_nameiparentfs_impl;
67     return fs;
68 }
69
70 typedef struct superblock superblock;
71 __code readsbfs_impl(struct fs_impl* fs, uint dev, struct superblock* sb, __code
    next(...)) { //:skip
72
73     struct buf* bp;
74
75     bp = bread(dev, 1);
76     memmove(sb, bp->data, sizeof(*sb));
77     brelse(bp);
78
79     goto next(...);
80 }
81
82 __code iinitfs_impl(struct fs_impl* fs, __code next(...)) {
83
84     initlock(&icache.lock, "icache");
85
86     goto next(...);
87 }
88
89 __code iallocfs_impl(struct fs_impl* fs, uint dev, short type, __code next(...)) {
90     goto allocinode(fs, dev, sb, next(...));
91 }
92
93 __code iupdatefs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, __code next(...)) {
94
95     struct buf *bp;
96     struct dinode *dip;

```

```

97
98     bp = bread(ip->dev, IBLOCK(ip->inum));
99
100     dip = (struct dinode*) bp->data + ip->inum % IPB;
101     dip->type = ip->type;
102     dip->major = ip->major;
103     dip->minor = ip->minor;
104     dip->nlink = ip->nlink;
105     dip->size = ip->size;
106
107     memmove(dip->addrs, ip->addrs, sizeof(ip->addrs));
108     log_write(bp);
109     brelse(bp);
110
111     goto next(...);
112 }
113
114 __code idupfs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, __code next(...)) {
115     acquire(&icache.lock);
116     ip->ref++;
117     release(&icache.lock);
118
119     goto next(ip, ...);
120 }
121
122 __code ilockfs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, __code next(...)) {
123     goto lockinode1(fs, ip, bp, dip, next(...));
124 }
125
126 __code iunlockfs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, __code next(...)) {
127     if (ip == 0 || !(ip->flags & I_BUSY) || ip->ref < 1) {
128         char* msg = "iunlock";
129         struct Err* err = createKernelError(&proc->cbc_context);
130         Gearef(cbc_context, Err)->msg = msg;
131         goto meta(cbc_context, err->panic);
132     }
133
134     acquire(&icache.lock);
135     ip->flags &= ~I_BUSY;
136     wakeup(ip);
137     release(&icache.lock);
138
139     goto next(...);
140 }
141
142 __code iputfs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, __code next(...)) {
143     if (next == C_iputfs_impl) {
144         next = fs->next2;
145     }
146     goto iput_check(fs, ip, next(...));
147 }
148
149 ....

```

2 行目のようにインターフェースのヘッダーファイルは `#include` ではなく `#interface` で呼び出す。4 行目の `create fs_impl` は Java などのコンストラクタに相当する。7 行目から 66 行目で `Interface` と実装の紐付けしている。CbC は 1 つ 1 つの `CodeGear` の信頼性を保障させるために細かくするべきであるため、`for` 文や `if` 文がある場合はさらに実装を分ける。`fs` と同じように `fs_impl` を定義し、遷移する関数名に対応させていく。分けた

実装はさらに別で実装する (fs_impl_private.cbc)。

5.4 FileSystem の Interface の private な実装

インターフェースで定義した CodeGear 以外の CodeGaer も記述することができる。この Code Gear は基本的にインターフェースで指定された Code Gear 内からのみ継続されるため、Java の private メソッドのように扱われる。インターフェースと同じようにヘッダーファイルをソースコード 5.3 で定義する。

ソースコード 5.3: fs private のヘッダーファイル (fs_impl.h 一部抜粋)

```
1 typedef struct fs_impl<Type, Isa> impl fs{
2     __code allocinode(Type* fs_impl, uint dev, struct superblock* sb, __code next
3         (...));
4     __code allocinode_loop(Type* fs_impl, uint inum, uint dev, short type, struct
5         superblock* sb, struct buf* bp, struct dinode* dip, __code next(...));
6     __code allocinode_loopcheck(Type* fs_impl, uint inum, uint dev, struct superblock
7         * sb, struct buf* bp, struct dinode* dip, __code next(...));
8     __code allocinode_noloop(Type* fs_impl, uint inum, uint dev, short type, struct
9         superblock* sb, struct buf* bp, struct dinode* dip, __code next(int ret, ...)
10        );
11     ....
12 } fs_impl;
```

private での CbC の記述について説明する。記述量が多いため、if 文と for 文を書き換えた ialloc_impl という関数で説明する。書き換えコードは以下のソースコード??とソースコード 5.5 に示す。

ソースコード 5.4: iallocfs_impl の実装

```
1 #interface "fs.dg"
2
3 __code iallocfs_impl(struct fs_impl* fs, uint dev, short type, __code next(...)) {
4     goto allocinode(fs, dev, sb, next(...));
5 }
```

fs_impl.cbc の中で CodeGear である iallocfs_impl が処理されると goto で private な実装である fs_impl_private.cbc 側の allocinode という CodeGear へと遷移する。

ソースコード 5.5: iallocfs_impl の private 実装

```
1 #include "types.h"
2 #include "defs.h"
3 #include "param.h"
4 #include "stat.h"
5 #include "mmu.h"
6 #include "proc.h"
7 #include "spinlock.h"
8 #include "buf.h"
9 #include "fs.h"
10 #include "file.h"
11 #interface "fs_impl.h"
12 #interface "Err.h"
```

```

13 #define min(a, b) ((a) < (b) ? (a) : (b))
14
15 /*
16 fs_impl* createfs_impl2();
17 */
18
19 __code allocinode(struct fs_impl* fs_impl, uint dev, struct superblock* sb, __code
    next(...)){ //:skip
20
21     readsb(dev, sb);
22     Gearef(cbc_context, fs_impl)->inum = 1;
23     goto allocinode_loopcheck(fs_impl, inum, dev, sb, bp, dip, next(...));
24 }
25
26
27 typedef struct buf buf;
28 typedef struct dinode dinode;
29
30 __code allocinode_loopcheck(struct fs_impl* fs_impl, uint inum, uint dev, struct
    superblock* sb, struct buf* bp, struct dinode* dip, __code next(...)){ //:skip
31     if( inum < sb->ninodes){
32         goto allocinode_loop(fs_impl, inum, dev, type, sb, bp, dip, next(...));
33     }
34     char* msg = "failed_allocinode...";
35     struct Err* err = createKernelError(&proc->cbc_context);
36     Gearef(cbc_context, Err)->msg = msg;
37     goto meta(cbc_context, err->panic);
38 }
39
40
41 __code allocinode_loop(struct fs_impl* fs_impl, uint inum, uint dev, short type,
    struct superblock* sb, struct buf* bp, struct dinode* dip, __code next(...)){ //:skip
42     bp = bread(dev, IBLOCK(inum));
43     dip = (struct dinode*) bp->data + inum % IPB;
44     if(dip->type == 0){
45         goto allocinode_noloop(fs_impl, inum, dev, sb, bp, dip, next(...));
46     }
47
48     brelse(bp);
49     inum++;
50     goto allocinode_loopcheck(fs_impl, inum, dev, type, sb, bp, dip, next(...));
51 }
52
53 struct {
54     struct spinlock lock;
55     struct inode inode[NINODE];
56 } icache;
57
58 static struct inode* iget (uint dev, uint inum)
59 {
60     struct inode *ip, *empty;
61
62     acquire(&icache.lock);
63
64     empty = 0;
65
66     for (ip = &icache.inode[0]; ip < &icache.inode[NINODE]; ip++) {
67         if (ip->ref > 0 && ip->dev == dev && ip->inum == inum) {
68             ip->ref++;
69             release(&icache.lock);
70             return ip;
71         }
72
73         if (empty == 0 && ip->ref == 0) {
74             empty = ip;

```

```

75     }
76 }
77
78 if (empty == 0) {
79     panic("iget: no inodes");
80 }
81
82 ip = empty;
83 ip->dev = dev;
84 ip->inum = inum;
85 ip->ref = 1;
86 ip->flags = 0;
87 release(&icache.lock);
88
89 return ip;
90 }
91
92 __code allocinode_noloop(struct fs_impl* fs_impl, uint inum, uint dev, short type,
93     struct superblock* sb, struct buf* bp, struct dinode* dip, __code next(int ret,
94     ...)){ //:skip
95
96     memset(dip, 0, sizeof(*dip));
97     dip->type = type;
98     log_write(bp);
99     brelse(bp);
100
101     ret = iget(dev, inum);
102     goto next(ret, ...);
103 }

```

private 側では `iallocfs_impl` からの受け皿としての `allocinode`、for 文のループ条件を確認する `allocinode_loopcheck`、ループした際の処理をする `allocinode_loop`、ループから抜けた際の処理をする `allocinode_noloop` の 4 つの CodeGear から成り立っている。ループの条件に当てはまらない際は `panic` へと処理が移り処理が停止する。static なものはまだ書き直していないが後々実装する。これらの CodeGear の一連の挙動を図 5.2 に示す。

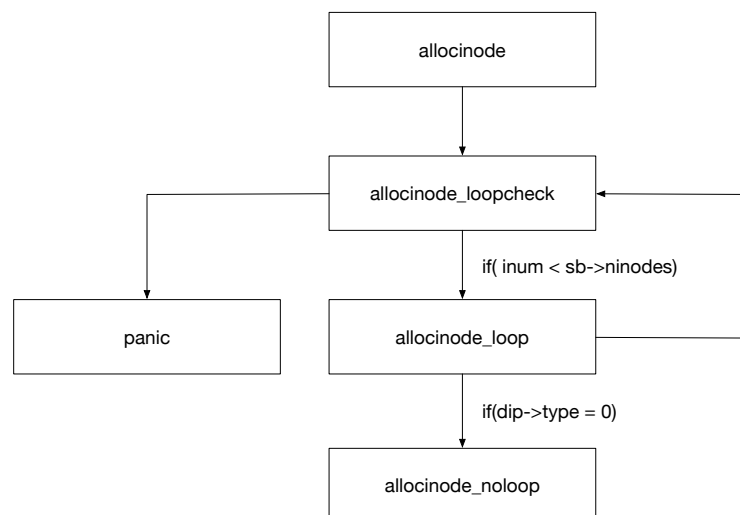


図 5.2: allocinode の ループによる遷移図

今回は `ialloc_impl` という関数を取り上げて説明したが、Filesystem が記述されている

fs.c で定義されている関数に関しては全て CbC を用いることにより状態遷移ベースに書き換え挙動を明確化した。

第6章 まとめと今後の課題

今回の研究では xv6 の FileSystem 部分について CbC を用いて書き換えを行った。しかし、xv6 は Gears OS を開発する前段階として開発しているので今後は書き換えた xv6 を Gears OS に適応した形に改良していく必要がある。xv6 の FileSystem 部分書き換え後 make し build することはできたが、デバックをまだ行っていないため正常に動くかどうか確認することが求められる。また、動かなかった場合修正を行い OS として機能しているか再確認する必要がある。後々は定理証明支援機 agda で証明できる OS として開発したい。

参考文献

- [1] Kaito TOKKMORI and Shinji KONO. Implementing continuation based language in llvm and clang. *LOLA 2015*, July 2015.
- [2] GNU Compiler Collection (GCC) Internals. <http://gcc.gnu.org/onlinedocs/gccint/>.
- [3] 大城信康, 河野真治. Continuation based c の gcc4.6 上の実装について. 第 53 回プログラミング・シンポジウム予稿集, 第 2012 巻, pp. 69–78, jan 2012.
- [4] Chris Lattner and Vikram Adve. LLVM: A Compilation Framework for Lifelong Program Analysis & Transformation. In *Proceedings of the 2004 International Symposium on Code Generation and Optimization (CGO'04)*, Palo Alto, California, Mar 2004.
- [5] Tokumori Kaito and Kono Shinji. Implementing continuation based language in llvm and clang. *LOLA 2015, Kyoto*, July 2015.
- [6] 河野真治, 伊波立樹, 東恩納琢偉. Code gear、data gear に基づく os のプロトタイプ. 情報処理学会システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会 (OS), May 2016.
- [7] Russ Cox, M Frans Kaashoek, and Robert Morris. Xv6, a simple unix-like teaching operating system, 2011. (2020 年 2 月 7 日閲覧).
- [8] ARM Architecture Reference Manual. <http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.subset.architecture.reference/index.html>.
- [9] 伊波立樹, 河野真治. Gears os の並列処理. 琉球大学工学部情報工学科平成 30 年度学位論文 (修士), 2018.
- [10] 宮城光希, 河野真治. 継続を基本とした言語による os のモジュール化. 琉球大学工学部情報工学科平成 31 年度学位論文 (修士), 2019.

謝辞

本研究の遂行，また本論文の作成にあたり、御多忙にも関わらず終始懇切なる御指導と御教授を賜わりました河野真治准教授に深く感謝いたします。

数々の貴重な御助言と細かな御配慮を戴いた並列信頼研究室の hoge 氏に深く感謝致します。

また一年間共に研究を行い、暖かな気遣いと励ましをもって支えてくれた並列信頼研究室の hoge 君、hoge 君、hoge さんに感謝致します。

最後に、有意義な時間を共に過ごした情報工学科の学友、並びに物心両面で支えてくれた両親に深く感謝致します。

2020 年 2 月
坂本昂弘

付録

ソースコード 6.1: FileSystem の Interface

```
1 typedef struct fs<Type,Impl> {
2     union Data* fs;
3     struct superblock* sb;
4     uint dev;
5     short type;
6     struct inode* ip;
7     struct stat* st;
8     char* dst;
9     uint off;
10    uint n;
11    const char* s;
12    const char* t;
13    struct inode* dp;
14    char* name;
15    uint* poff;
16    uint inum;
17    char* path;
18    char* src;
19    int namex_val;
20    int strncmp_val;
21    dirent* de;
22    int ret;
23    uint tot;
24    __code readsb(Impl* fs, uint dev, struct superblock* sb, __code next(...));
25    __code iinit(Impl* fs, __code next(...));
26    __code ialloc(Impl* fs, uint dev, short type, __code next(...));
27    __code iupdate(Impl* fs, struct inode* ip, __code next(...));
28    __code idup(Impl* fs, struct inode* ip, __code next(...));
29    __code ilock(Impl* fs, struct inode* ip, __code next(...));
30    __code iunlock(Impl* fs, struct inode* ip, __code next(...));
31    __code iput(Impl* fs, struct inode* ip, __code next(...));
32    __code iunlockput(Impl* fs, struct inode* ip, __code next(...));
33    __code stati(Impl* fs, struct inode* ip, struct stat* st, __code next(...));
34    __code readi(Impl* fs, struct inode* ip, char* dst, uint off, uint tot, uint n,
35        __code next(int ret, ...));
36    __code writei(Impl* fs, struct inode* ip, char* src, uint off, uint tot, uint n,
37        __code next(int ret, ...));
38    __code namecmp(Impl* fs, const char* s, const char* t, __code next(int
39        strncmp_val, ...));
40    __code dirlookup(Impl* fs, struct inode* dp, char* name, uint off, uint* poff,
41        dirent* de, __code next(int ret, ...));
42    __code dirlink(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, struct dirent* de, struct
43        inode* dp, char* name, uint off, uint inum, __code next(...));
44    __code namei(Impl* fs, char* path, __code next(int namex_val, ...));
45    __code nameiparent(Impl* fs, char* path, char* name, __code next(int namex_val,
46        ...));
47    __code next(...);
48 } fs;
```

ソースコード 6.2: fs private のヘッダーファイル

```

1 typedef struct fs_impl<Type, Isa> impl fs{
2     union Data* fs_impl;
3     struct superblock* sb;
4     int ret;
5     uint dev;
6     short type;
7     struct buf* bp;
8     struct dinode* dip;
9     uint inum;
10    struct inode* dp;
11    char* name;
12    uint off;
13    uint* poff;
14    dirent* de;
15    uint tot;
16    uint m;
17    char* dst;
18    uint n;
19    char* src;
20
21    __code allocinode(Type* fs_impl, uint dev, struct superblock* sb, __code next
22        (...));
23    __code allocinode_loop(Type* fs_impl, uint inum, uint dev, short type, struct
24        superblock* sb, struct buf* bp, struct dinode* dip, __code next(...));
25    __code allocinode_loopcheck(Type* fs_impl, uint inum, uint dev, struct superblock
26        * sb, struct buf* bp, struct dinode* dip, __code next(...));
27    __code allocinode_noloop(Type* fs_impl, uint inum, uint dev, short type, struct
28        superblock* sb, struct buf* bp, struct dinode* dip, __code next(int ret, ...)
29        );
30    __code lockinode1(Type* fs_impl, struct inode *ip, struct buf *bp, struct dinode
31        *dip, __code next(...));
32    __code lockinode2(Type* fs_impl, struct inode* ip, struct buf* bp, struct dinode*
33        dip, __code next(...));
34    __code lockinode_sleepcheck(Type* fs_impl, struct inode* ip, __code next(...));
35    __code iput_check(Type* fs_impl, struct inode* ip, __code next(...));
36    __code iput_inode_nolink(Type* fs_impl, struct inode* ip, __code next(...));
37    __code readi_check_diskinode(Type* fs_impl, struct inode* ip, char* dst, uint n,
38        next(int ret, ...));
39    __code readi_loopcheck(Type* fs_impl, uint tot, uint m, char* dst, uint off, uint
40        n, __code next(...));
41    __code readi_loop(Type* fs_impl, struct inode *ip, struct buf* bp, uint tot, uint
42        m, char* dst, uint off, uint n, __code next(...));
43    __code readi_noloop(Type* fs_impl, uint n, __code next(int ret, ...));
44    __code writei_check_diskinode(Type* fs_impl, struct inode* ip, char* src, uint n,
45        __code next(int ret, ...));
46    __code writei_loopcheck(Type* fs_impl, uint tot, uint m, char* src, uint off,
47        uint n, __code next(...));
48    __code writei_loop(Type* fs_impl, struct inode* ip, struct buf* bp, uint tot,
49        uint m, char* src, uint off, uint n, __code next(...));
50    __code writei_noloop(Type* fs_impl, struct inode* ip, uint n, uint off, __code
51        next(int ret, ...));
52    __code dirlookup_loopcheck(Type* fs_impl, struct inode* dp, char* name, uint off,
53        uint* poff, dirent* de, next(...));
54    __code dirlookup_loop(Type* fs_impl, struct inode* dp, char* name, uint off, uint
55        inum, uint* poff, dirent* de, __code next(int ret, ...));
56    __code dirlookup_noloop(Type* fs_impl, __code next(int ret, ...));
57    __code dirlink_namecheck(Type* fs_impl, struct inode* ip, __code next(int ret,
58        ...));
59    __code dirlink_loopcheck(Type* fs_impl, struct dirent* de, struct inode* dp, uint
60        off, __code next(...));
61    __code dirlink_loop(Type* fs_impl, struct dirent* de, struct inode* dp, uint off,
62        uint inum, __code next(...));
63    __code dirlink_noloop(Type* fs_impl, struct dirent* de, struct inode* dp, uint
64        off, uint inum, char* name, __code next(int ret, ...));

```

```

45     __code next(...);
46     __code next2(...);
47 } fs_impl;

```

ソースコード 6.3: fs Interface の実装

```

1 #include "types.h"
2 #include "defs.h"
3 #include "param.h"
4 #include "stat.h"
5 #include "mmu.h"
6 #include "proc.h"
7 #include "spinlock.h"
8 #include "buf.h"
9 #include "fs.h"
10 #include "file.h"
11 #interface "Err.h"
12 #interface "fs.dg"
13
14 fs* createfs_impl(struct Context* cbc_context) {
15     struct fs* fs = new fs();
16     struct fs_impl* fs_impl = new fs_impl();
17     fs->fs = (union Data*)fs_impl;
18     fs_impl->fs_impl = NULL;
19     fs_impl->sb = NULL;
20     fs_impl->ret = 0;
21     fs_impl->dev = 0;
22     fs_impl->type = 0;
23     fs_impl->bp = NULL;
24     fs_impl->dip = NULL;
25     fs_impl->inum = 0;
26     fs_impl->dp = NULL;
27     fs_impl->name = NULL;
28     fs_impl->off = 0;
29     fs_impl->poff = NULL;
30     fs_impl->de = NULL;
31     fs_impl->tot = 0;
32     fs_impl->m = 0;
33     fs_impl->dst = NULL;
34     fs_impl->n = 0;
35     fs_impl->src = NULL;
36     fs_impl->allocinode = C_allocinode;
37     fs_impl->allocinode_loop = C_allocinode_loop;
38     fs_impl->allocinode_loopcheck = C_allocinode_loopcheck;
39     fs_impl->allocinode_noloop = C_allocinode_noloop;
40     fs_impl->lockinode1 = C_lockinode1;
41     fs_impl->lockinode2 = C_lockinode2;
42     fs_impl->lockinode_sleepcheck = C_lockinode_sleepcheck;
43     fs_impl->iput_check = C_iput_check;
44     fs_impl->iput_inode_nolink = C_iput_inode_nolink;
45     fs_impl->readi_check_diskinode = C_readi_check_diskinode;
46     fs_impl->readi_loopcheck = C_readi_loopcheck;
47     fs_impl->readi_loop = C_readi_loop;
48     fs_impl->readi_noloop = C_readi_noloop;
49     fs_impl->writei_check_diskinode = C_writei_check_diskinode;
50     fs_impl->writei_loopcheck = C_writei_loopcheck;
51     fs_impl->writei_loop = C_writei_loop;
52     fs_impl->writei_noloop = C_writei_noloop;
53     fs_impl->dirlookup_loopcheck = C_dirlookup_loopcheck;
54     fs_impl->dirlookup_loop = C_dirlookup_loop;
55     fs_impl->dirlookup_noloop = C_dirlookup_noloop;
56     fs_impl->dirlink_namecheck = C_dirlink_namecheck;
57     fs_impl->dirlink_loopcheck = C_dirlink_loopcheck;
58     fs_impl->dirlink_loop = C_dirlink_loop;
59     fs_impl->dirlink_noloop = C_dirlink_noloop;

```

```

60     fs->readsb = C_readsbfs_impl;
61     fs->iinit = C_iinitfs_impl;
62     fs->ialloc = C_iallocfs_impl;
63     fs->iupdate = C_iupdatefs_impl;
64     fs->idup = C_idupfs_impl;
65     fs->ilock = C_ilockfs_impl;
66     fs->iunlock = C_iunlockfs_impl;
67     fs->iput = C_iputfs_impl;
68     fs->iunlockput = C_iunlockputfs_impl;
69     fs->stati = C_statifs_impl;
70     fs->readi = C_readifs_impl;
71     fs->writei = C_writeifs_impl;
72     fs->namecmp = C_namecmpfs_impl;
73     fs->dirlookup = C_dirlookupfs_impl;
74     fs->dirlink = C_dirlinkfs_impl;
75     fs->namei = C_nameifs_impl;
76     fs->nameiparent = C_nameiparentfs_impl;
77     return fs;
78 }
79
80 typedef struct superblock superblock;
81 __code readsbfs_impl(struct fs_impl* fs, uint dev, struct superblock* sb, __code
    next(...)) { //:skip
82
83     struct buf* bp;
84
85     bp = bread(dev, 1);
86     memmove(sb, bp->data, sizeof(*sb));
87     brelse(bp);
88
89     goto next(...);
90 }
91
92 struct {
93     struct spinlock lock;
94     struct inode inode[NINODE];
95 } icache;
96
97 __code iinitfs_impl(struct fs_impl* fs, __code next(...)) {
98
99     initlock(&icache.lock, "icache");
100
101     goto next(...);
102 }
103
104 __code iallocfs_impl(struct fs_impl* fs, uint dev, short type, __code next(...)) {
105     goto allocinode(fs, dev, sb, next(...));
106 }
107
108 __code iupdatefs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, __code next(...)) {
109
110     struct buf *bp;
111     struct dinode *dip;
112
113     bp = bread(ip->dev, IBLOCK(ip->inum));
114
115     dip = (struct dinode*) bp->data + ip->inum % IPB;
116     dip->type = ip->type;
117     dip->major = ip->major;
118     dip->minor = ip->minor;
119     dip->nlink = ip->nlink;
120     dip->size = ip->size;
121
122     memmove(dip->addrs, ip->addrs, sizeof(ip->addrs));
123     log_write(bp);
124     brelse(bp);

```

```

125
126     goto next(...);
127 }
128
129 __code idupfs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, __code next(...)) {
130
131     acquire(&icache.lock);
132     ip->ref++;
133     release(&icache.lock);
134
135     goto next(ip, ...);
136
137 }
138
139 __code ilockfs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, __code next(...)) {
140
141     goto lockinode1(fs, ip, bp, dip, next(...));
142 }
143
144 __code iunlockfs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, __code next(...)) {
145
146     if (ip == 0 || !(ip->flags & I_BUSY) || ip->ref < 1) {
147         char* msg = "iunlock";
148         struct Err* err = createKernelError(&proc->cbc_context);
149         Gearef(cbc_context, Err)->msg = msg;
150         goto meta(cbc_context, err->panic);
151     }
152
153     acquire(&icache.lock);
154     ip->flags &= ~I_BUSY;
155     wakeup(ip);
156     release(&icache.lock);
157
158     goto next(...);
159 }
160
161 __code iputfs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, __code next(...)) {
162     if (next == C_iputfs_impl) {
163         next = fs->next2;
164     }
165     goto iput_check(fs, ip, next(...));
166 }
167
168 __code iunlockputfs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, __code next(...)) {
169     fs->next2 = next;
170     goto iunlockfs_impl(ip, fs->iput, ...);
171 }
172
173 typedef struct stat stat;
174 __code statifs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, struct stat* st, __code
175     next(...)) { //:skip
176     st->dev = ip->dev;
177     st->ino = ip->inum;
178     st->type = ip->type;
179     st->nlink = ip->nlink;
180     st->size = ip->size;
181     goto next(...);
182 }
183
184 __code readifs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, char* dst, uint off, uint
185     tot, uint n, __code next(int ret, ...)) {
186     if (ip->type == T_DEV) {
187         goto readi_check_diskinode(fs, ip, dst, n, next(...));
188     }
189
190     if (off > ip->size || off + n < off) {

```

```

189         ret = -1;
190         goto next(ret, ...);
191     }
192
193     if (off + n > ip->size) {
194         n = ip->size - off;
195     }
196     Gearef(cbc_context, fs)->tot = 0;
197     goto readi_loopcheck(fs, tot, m, dst, off, n, next(...));
198 }
199
200 __code writeifs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, char* src, uint off, uint
    tot, uint n, __code next(int ret, ...)) {
201     if (ip->type == T_DEV) {
202         goto writei_check_diskinode(fs, ip, src, n, next(...));
203     }
204
205     if (off > ip->size || off + n < off) {
206         ret = -1;
207         goto next(ret, ...);
208     }
209
210     if (off + n > MAXFILE * BSIZE) {
211         ret = -1;
212         goto next(ret, ...);
213     }
214     Gearef(cbc_context, fs)->tot = 0;
215     goto writei_loopcheck(fs, tot, m, src, off, n, next(...));
216 }
217
218
219 __code namecmpfs_impl(struct fs_impl* fs, const char* s, const char* t, __code next(
    int strncmp_val, ...)) {
220     strncmp_val = strncmp(s, t, DIRSIZ);
221     goto next(strncmp_val, ...);
222 }
223
224 __code dirlookupfs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* dp, char* name, uint off,
    uint* poff, dirent* de, __code next(...)) { //:skip
225     if (dp->type != T_DIR) {
226         char* msg = "dirlookup_not_DIR";
227         struct Err* err = createKernelError(&proc->cbc_context);
228         Gearef(cbc_context, Err)->msg = msg;
229         goto meta(cbc_context, err->panic);
230     }
231     Gearef(cbc_context, fs)->off = 0;
232     goto dirlookup_loopcheck(fs, dp, name, off, poff, de, next(...));
233 }
234
235 __code dirlinkfs_impl(struct fs_impl* fs, struct inode* ip, struct dirent* de,
    struct inode* dp, char* name, uint off, uint inum, __code next(...)) { //:skip
236     if ((ip = dirlookup(dp, name, 0)) != 0) {
237         goto dirlink_namecheck(fs, ip, next(...));
238     }
239     Gearef(cbc_context, fs)->off = 0;
240     goto dirlink_loopcheck(fs, de, dp, off, next(...));
241 }
242
243 static struct inode* iget (uint dev, uint inum)
244 {
245     struct inode *ip, *empty;
246
247     acquire(&icache.lock);
248
249     empty = 0;
250

```

```

251     for (ip = &icache.inode[0]; ip < &icache.inode[NINODE]; ip++) {
252         if (ip->ref > 0 && ip->dev == dev && ip->inum == inum) {
253             ip->ref++;
254             release(&icache.lock);
255             return ip;
256         }
257
258         if (empty == 0 && ip->ref == 0) { // Remember empty slot.
259             empty = ip;
260         }
261     }
262     if (empty == 0) {
263         panic("iget: no inodes");
264     }
265
266     ip = empty;
267     ip->dev = dev;
268     ip->inum = inum;
269     ip->ref = 1;
270     ip->flags = 0;
271     release(&icache.lock);
272
273     return ip;
274 }
275
276 static char* skipelem (char *path, char *name)
277 {
278     char *s;
279     int len;
280
281     while (*path == '/') {
282         path++;
283     }
284
285     if (*path == 0) {
286         return 0;
287     }
288
289     s = path;
290
291     while (*path != '/' && *path != 0) {
292         path++;
293     }
294
295     len = path - s;
296
297     if (len >= DIRSIZ) {
298         memmove(name, s, DIRSIZ);
299     } else {
300         memmove(name, s, len);
301         name[len] = 0;
302     }
303
304     while (*path == '/') {
305         path++;
306     }
307
308     return path;
309 }
310
311
312 static struct inode* namex (char *path, int nameiparent, char *name)
313 {
314     struct inode *ip, *next;
315
316     if (*path == '/') {

```



```

317     ip = iget(ROOTDEV, ROOTINO);
318 } else {
319     ip = idup(proc->cwd);
320 }
321
322 while ((path = skipelem(path, name)) != 0) {
323     ilock(ip);
324
325     if (ip->type != T_DIR) {
326         iunlockput(ip);
327         return 0;
328     }
329
330     if (nameiparent && *path == '\0') {
331         iunlock(ip);
332         return ip;
333     }
334
335     if ((next = dirlookup(ip, name, 0)) == 0) {
336         iunlockput(ip);
337         return 0;
338     }
339
340     iunlockput(ip);
341     ip = next;
342 }
343
344 if (nameiparent) {
345     iput(ip);
346     return 0;
347 }
348
349 return ip;
350 }
351
352 __code nameifs_impl(struct fs_impl* fs, char* path, __code next(int namex_val, ...))
353 {
354     char name[DIRSIZ];
355     namex_val = namex(path, 0, name);
356     goto next(namex_val, ...);
357 }
358
359 __code nameiparentfs_impl(struct fs_impl* fs, char* path, char* name, __code next(
360     int namex_val, ...)) {
361     namex_val = namex(path, 1, name);
362     goto next(namex_val, ...);
363 }

```

ソースコード 6.4: fs Interface の private 実装

```

1 #include "types.h"
2 #include "defs.h"
3 #include "param.h"
4 #include "stat.h"
5 #include "mmu.h"
6 #include "proc.h"
7 #include "spinlock.h"
8 #include "buf.h"
9 #include "fs.h"
10 #include "file.h"
11 #interface "fs_impl.h"
12 #interface "Err.h"
13 #define min(a, b) ((a) < (b) ? (a) : (b))

```

```

14
15 /*
16 fs_impl* createfs_impl2();
17 */
18
19 __code allocinode(struct fs_impl* fs_impl, uint dev, struct superblock* sb, __code
    next(...)){ //:skip
20
21     readsb(dev, sb);
22     Gearef(cbc_context, fs_impl)->inum = 1;
23     goto allocinode_loopcheck(fs_impl, inum, dev, sb, bp, dip, next(...));
24
25 }
26
27 typedef struct buf buf;
28 typedef struct dinode dinode;
29
30 __code allocinode_loopcheck(struct fs_impl* fs_impl, uint inum, uint dev, struct
    superblock* sb, struct buf* bp, struct dinode* dip, __code next(...)){ //:skip
31     if( inum < sb->ninodes){
32         goto allocinode_loop(fs_impl, inum, dev, type, sb, bp, dip, next(...));
33     }
34     char* msg = "failed_allocinode...";
35     struct Err* err = createKernelError(&proc->cbc_context);
36     Gearef(cbc_context, Err)->msg = msg;
37     goto meta(cbc_context, err->panic);
38
39 }
40
41 __code allocinode_loop(struct fs_impl* fs_impl, uint inum, uint dev, short type,
    struct superblock* sb, struct buf* bp, struct dinode* dip, __code next(...)){ //:
    skip
42     bp = bread(dev, IBLOCK(inum));
43     dip = (struct dinode*) bp->data + inum % IPB;
44     if(dip->type == 0){
45         goto allocinode_noloop(fs_impl, inum, dev, sb, bp, dip, next(...));
46     }
47
48     brelse(bp);
49     inum++;
50     goto allocinode_loopcheck(fs_impl, inum, dev, type, sb, bp, dip, next(...));
51 }
52
53 struct {
54     struct spinlock lock;
55     struct inode inode[NINODE];
56 } icache;
57
58 static struct inode* iget (uint dev, uint inum)
59 {
60     struct inode *ip, *empty;
61
62     acquire(&icache.lock);
63
64     empty = 0;
65
66     for (ip = &icache.inode[0]; ip < &icache.inode[NINODE]; ip++) {
67         if (ip->ref > 0 && ip->dev == dev && ip->inum == inum) {
68             ip->ref++;
69             release(&icache.lock);
70             return ip;
71         }
72
73         if (empty == 0 && ip->ref == 0) { // Remember empty slot.
74             empty = ip;
75         }

```

```

76     }
77
78     if (empty == 0) {
79         panic("iget: no inodes");
80     }
81
82     ip = empty;
83     ip->dev = dev;
84     ip->inum = inum;
85     ip->ref = 1;
86     ip->flags = 0;
87     release(&icache.lock);
88
89     return ip;
90 }
91
92 __code allocinode_noloop(struct fs_impl* fs_impl, uint inum, uint dev, short type,
93     struct superblock* sb, struct buf* bp, struct dinode* dip, __code next(int ret,
94     ...)){ //:skip
95
96     memset(dip, 0, sizeof(*dip));
97     dip->type = type;
98     log_write(bp);
99     brelse(bp);
100
101     ret = iget(dev, inum);
102     goto next(ret, ...);
103 }
104
105 __code lockinode1(struct fs_impl* fs_impl, struct inode* ip, struct buf* bp, struct
106     dinode* dip, __code next(...)){ //:skip
107
108     if (ip == 0 || ip->ref < 1) {
109         char* msg = "ilock";
110         struct Err* err = createKernelError(&proc->cbc_context);
111         Gearef(cbc_context, Err)->msg = msg;
112         goto meta(cbc_context, err->panic);
113     }
114     acquire(&icache.lock);
115
116     goto lockinode_sleepcheck(fs_impl, ip, next(...));
117 }
118
119 __code lockinode2(struct fs_impl* fs_impl, struct inode* ip, struct buf* bp, struct
120     dinode* dip, __code next(...)){ //:skip
121
122     ip->flags |= I_BUSY;
123     release(&icache.lock);
124
125     if (!(ip->flags & I_VALID)) {
126         bp = bread(ip->dev, IBLOCK(ip->inum));
127
128         dip = (struct dinode*) bp->data + ip->inum % IPB;
129         ip->type = dip->type;
130         ip->major = dip->major;
131         ip->minor = dip->minor;
132         ip->nlink = dip->nlink;
133         ip->size = dip->size;
134
135         memmove(ip->addrs, dip->addrs, sizeof(ip->addrs));
136         brelse(bp);
137         ip->flags |= I_VALID;

```

```

138         if (ip->type == 0) {
139             char* msg = "ilock: no type";
140             struct Err* err = createKernelError(&proc->cbc_context);
141             Gearef(cbc_context, Err)->msg = msg;
142             goto meta(cbc_context, err->panic);
143         }
144     }
145     goto next(...);
146 }
147 __code lockinode_sleepcheck(struct fs_impl* fs_impl, struct inode* ip, __code next
148     (...)){
149     if(ip->flags & I_BUSY){
150         sleep(ip, &icache.lock);
151         goto lockinode_sleepcheck(fs_impl, ip, next(...));
152     }
153     goto lockinode2(fs_impl, ip, bp, dip, next(...));
154 }
155 __code iput_check(struct fs_impl* fs_impl, struct inode* ip, __code next(...)){
156     acquire(&icache.lock);
157     if (ip->ref == 1 && (ip->flags & I_INVALID) && ip->nlink == 0) {
158         goto iput_inode_nolink(fs_impl, ip, next(...));
159     }
160     ip->ref--;
161     release(&icache.lock);
162     goto next(...);
163 }
164 }
165
166 static void bfree (int dev, uint b)
167 {
168     struct buf *bp;
169     struct superblock sb;
170     int bi, m;
171
172     readsb(dev, &sb);
173     bp = bread(dev, BBLOCK(b, sb.ninodes));
174     bi = b % BPB;
175     m = 1 << (bi % 8);
176
177     if ((bp->data[bi / 8] & m) == 0) {
178         panic("freeing free block");
179     }
180
181     bp->data[bi / 8] &= ~m;
182     log_write(bp);
183     brelse(bp);
184 }
185
186
187 static void itrunc (struct inode *ip)
188 {
189     int i, j;
190     struct buf *bp;
191     uint *a;
192
193     for (i = 0; i < NDIRECT; i++) {
194         if (ip->addrs[i]) {
195             bfree(ip->dev, ip->addrs[i]);
196             ip->addrs[i] = 0;
197         }
198     }
199
200     if (ip->addrs[NDIRECT]) {
201         bp = bread(ip->dev, ip->addrs[NDIRECT]);
202         a = (uint*) bp->data;

```

```

203
204     for (j = 0; j < NINDIRECT; j++) {
205         if (a[j]) {
206             bfree(ip->dev, a[j]);
207         }
208     }
209
210     brelse(bp);
211     bfree(ip->dev, ip->addrs[NDIRECT]);
212     ip->addrs[NDIRECT] = 0;
213 }
214
215 ip->size = 0;
216 iupdate(ip);
217 }
218
219 __code iput_inode_nolink(struct fs_impl* fs_impl, struct inode* ip, __code next(...))
220 {
221     if (ip->flags & I_BUSY) {
222         char* msg = "iput_busy";
223         struct Err* err = createKernelError(&proc->cbc_context);
224         Gearef(cbc_context, Err)->msg = msg;
225         goto meta(cbc_context, err->panic);
226     }
227
228     ip->flags |= I_BUSY;
229     release(&icache.lock);
230     itrunc(ip);
231     ip->type = 0;
232     iupdate(ip);
233
234     acquire(&icache.lock);
235     ip->flags = 0;
236     wakeup(ip);
237     goto next(...);
238 }
239
240 __code readi_check_diskinode(struct fs_impl* fs_impl, struct inode* ip, char* dst,
241     uint n, __code next(int ret, ...)){
242     if (ip->major < 0 || ip->major >= NDEV || !devsw[ip->major].read) {
243         ret = -1;
244         goto next(ret, ...);
245     }
246
247     ret = devsw[ip->major].read(ip, dst, n);
248     goto next(ret, ...);
249 }
250
251 __code readi_loopcheck(struct fs_impl* fs_impl, uint tot, uint m, char* dst, uint
252     off, uint n, __code next(...)){
253     if(tot < n){
254         goto readi_loop(fs_impl, ip, bp, tot, m, dst, off, n, next(...));
255     }
256     goto readi_noloop(fs_impl, next(...));
257 }
258
259 static void bzero (int dev, int bno)
260 {
261     struct buf *bp;
262
263     bp = bread(dev, bno);
264     memset(bp->data, 0, BSIZE);
265     log_write(bp);
266     brelse(bp);
267 }

```

```

266
267 static uint balloc (uint dev)
268 {
269     int b, bi, m;
270     struct buf *bp;
271     struct superblock sb;
272
273     bp = 0;
274     readsb(dev, &sb);
275
276     for (b = 0; b < sb.size; b += BPB) {
277         bp = bread(dev, BBLOCK(b, sb.ninodes));
278
279         for (bi = 0; bi < BPB && b + bi < sb.size; bi++) {
280             m = 1 << (bi % 8);
281
282             if ((bp->data[bi / 8] & m) == 0) { // Is block free?
283                 bp->data[bi / 8] |= m; // Mark block in use.
284                 log_write(bp);
285                 brelse(bp);
286                 bzero(dev, b + bi);
287                 return b + bi;
288             }
289         }
290
291         brelse(bp);
292     }
293
294     panic("balloc: out of blocks");
295 }
296
297
298 static uint bmap (struct inode *ip, uint bn)
299 {
300     uint addr, *a;
301     struct buf *bp;
302
303     if (bn < NDIRECT) {
304         if ((addr = ip->addrs[bn]) == 0) {
305             ip->addrs[bn] = addr = balloc(ip->dev);
306         }
307
308         return addr;
309     }
310
311     bn -= NDIRECT;
312
313     if (bn < NINDIRECT) {
314         if ((addr = ip->addrs[NDIRECT]) == 0) {
315             ip->addrs[NDIRECT] = addr = balloc(ip->dev);
316         }
317
318         bp = bread(ip->dev, addr);
319         a = (uint*) bp->data;
320
321         if ((addr = a[bn]) == 0) {
322             a[bn] = addr = balloc(ip->dev);
323             log_write(bp);
324         }
325
326         brelse(bp);
327         return addr;
328     }
329
330     panic("bmap: out of range");
331 }

```

```

332
333
334 __code readi_loop(struct fs_impl* fs_impl, struct inode* ip, struct buf* bp, uint
    tot, uint m, char* dst, uint off, uint n, __code next(...)){ //:skip
335     bp = bread(ip->dev, bmap(ip, off / BSIZE));
336     m = min(n - tot, BSIZE - off%BSIZE);
337     memmove(dst, bp->data + off % BSIZE, m);
338     brelse(bp);
339     tot += m;
340     off += m;
341     dst += m;
342     goto readi_loopcheck(fs_impl, tot, m, dst, off, n, next(...));
343 }
344
345 __code readi_noloop(struct fs_impl* fs_impl, uint n, __code next(int ret, ...)){
346     ret = n;
347     goto next(ret, ...);
348 }
349
350 __code writei_check_diskinode(struct fs_impl* fs_impl, struct inode* ip, char* src,
    uint n, __code next(int ret, ...)){
351     if (ip->major < 0 || ip->major >= NDEV || !devsw[ip->major].write) {
352         ret = -1;
353         goto next(ret, ...);
354     }
355
356     ret = devsw[ip->major].write(ip, src, n);
357     goto next(ret, ...);
358 }
359
360 __code writei_loopcheck(struct fs_impl* fs_impl, uint tot, uint m, char* src, uint
    off, uint n, __code next(...)){
361     if(tot < n){
362         goto writei_loop(fs_impl, ip, bp, tot, m, src, off, n, next(...));
363     }
364     goto writei_noloop(fs_impl, next(...));
365 }
366
367 __code writei_loop(struct fs_impl* fs_impl, struct inode* ip, struct buf* bp, uint
    tot, uint m, char* src, uint off, uint n, __code next(...)){ //:skip
368     bp = bread(ip->dev, bmap(ip, off / BSIZE));
369     m = min(n - tot, BSIZE - off%BSIZE);
370     memmove(bp->data + off % BSIZE, src, m);
371     log_write(bp);
372     brelse(bp);
373     tot += m;
374     off += m;
375     src += m;
376     goto writei_loopcheck(fs_impl, tot, m, src, off, n, next(...));
377 }
378
379 __code writei_noloop(struct fs_impl* fs_impl, struct inode* ip, uint n, uint off,
    __code next(int ret, ...)){
380     if (n > 0 && off > ip->size) {
381         ip->size = off;
382         iupdate(ip);
383     }
384     ret = n;
385     goto next(ret, ...);
386 }
387 typedef struct dirent dirent;
388 __code dirlookup_loopcheck(struct fs_impl* fs_impl, struct inode* dp, char* name,
    uint off, uint* poff, dirent* de, __code next(...)){ //:skip
389     if(off < dp->size){
390         goto dirlookup_loop(fs_impl, dp, name, off, inum, poff, de, next(...));
391     }

```

```

392     goto dirlookup_noloop(fs_impl, next(...));
393 }
394
395 __code dirlookup_loop(struct fs_impl* fs_impl, struct inode* dp, char* name, uint
    off, uint inum, uint* poff, dirent* de, __code next(int ret, ...)){
396     if (readi(dp, (char*) &de, off, sizeof(de)) != sizeof(de)) {
397         char* msg = "dirlink_read";
398         struct Err* err = createKernelError(&proc->cbc_context);
399         Gearef(cbc_context, Err)->msg = msg;
400         goto meta(cbc_context, err->panic);
401     }
402
403     if (de->inum == 0) {
404         off += sizeof(de);
405         goto dirlookup_loopcheck(fs_impl, dp, name, poff, de, next(...));
406     }
407
408     if (namecmp(name, de->name) == 0) {
409         if (poff) {
410             *poff = off;
411         }
412
413         inum = de->inum;
414         ret = iget(dp->dev, inum);
415         goto next(ret, ...);
416     }
417
418     off += sizeof(de);
419     goto dirlookup_loopcheck(fs_impl, dp, name, poff, de, next(...));
420 }
421
422 __code dirlookup_noloop(struct fs_impl* fs_impl, __code next(int ret, ...)){
423     ret = 0;
424     goto next(ret, ...);
425 }
426
427 __code dirlink_namecheck(struct fs_impl* fs_impl, struct inode* ip, __code next(int
    ret, ...)){
428     iput(ip);
429     ret = -1;
430     goto next(ret, ...);
431 }
432
433 __code dirlink_loopcheck(struct fs_impl* fs_impl, struct dirent* de, struct inode*
    dp, uint off, __code next(...)){ //:skip
434     if(off < dp->size){
435         goto dirlink_loop(fs_impl, de, dp, off, inum, next(...));
436     }
437     goto dirlink_noloop(fs_impl, de, dp, off, inum, name, next(...));
438 }
439
440 __code dirlink_loop(struct fs_impl* fs_impl, struct dirent* de, struct inode* dp,
    uint off, uint inum, __code next(...)){ //:skip
441     if (readi(dp, (char*) &de, off, sizeof(de)) != sizeof(de)) {
442         char* msg = "dirlink_read";
443         struct Err* err = createKernelError(&proc->cbc_context);
444         Gearef(cbc_context, Err)->msg = msg;
445         goto meta(cbc_context, err->panic);
446     }
447
448     if (de->inum == 0) {
449         goto dirlink_noloop(fs_impl, de, dp, off, inum, name, next(...));
450     }
451
452     goto dirlink_loopcheck(fs_impl, de, dp, off + sizeof(de), next(...));
453 }

```



```

454
455 __code dirlink_noloop(struct fs_impl* fs_impl, struct dirent* de, struct inode* dp,
456     uint off, uint inum, char* name, __code next(int ret, ...)){ //:skip
457     strncpy(de->name, name, DIRSIZ);
458     de->inum = inum;
459
460     if (writei(dp, (char*) &de, off, sizeof(de)) != sizeof(de)) {
461         char* msg = "dirlink_read";
462         struct Err* err = createKernelError(&proc->cbc_context);
463         Gearef(cbc_context, Err)->msg = msg;
464         goto meta(cbc_context, err->panic);
465     }
466     ret = 0;
467     goto next(ret, ...);

```