EFOP-3.6.2-16-2017-00013

European Union

A modern look at GRIN

an optimizing functional language back end

Podlovics Péter - Hruska Csaba, Kaposi Ambrus

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Budapest

TDK-2020

SZÉCHENYI 2020

HUNGARIAN GOVERNMENT

European Union
European Social
Fund

INVESTING IN YOUR FUTURE

Tartalom

GRIN áttekintés

Miért funkcionális?

- Deklaratív

  pro: magasabb absztrakciós szinten való programozás

- Kompozicionalitás

  pro: kis programokat könnyedén lehet összeilleszteni

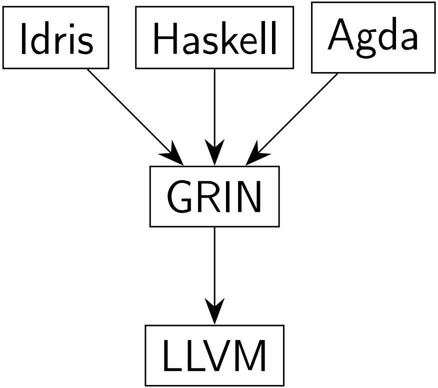
  con: sok függvényhívást eredményez

- Függvények elsőrendű értékként

  pro: magasabb rendű függvények

  con: ismeretlen függvényhívások

Graph Reduction Intermediate Notation

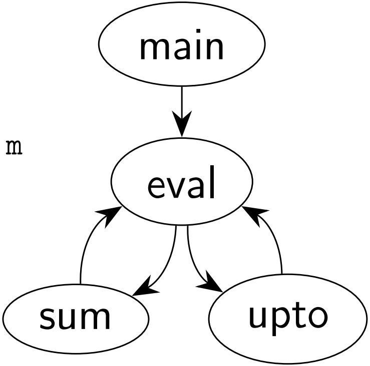


Front end kód

```
main = sum (upto 0 10)

upto n m
  | n > m = []
  | otherwise = n : upto (n+1) m

sum []     = 0
sum (x:xs) = x + sum xs
```

Front end kód

```
main = sum (upto 0 10)

upto n m
   | n > m = []
   | otherwise = n : upto (n+1) m

sum []       = 0
sum (x:xs)  = x + sum xs
```



GRIN kód

```
grinMain =
  t1 <- store (CInt 1)
  t2 <- store (CInt 10)
  t3 <- store (Fupto t1 t2)
  t4 <- store (Fsum t3)
  (CInt r) <- eval t4
  _prim_int_print r
```

```
eval p =
  v <- fetch p
  case v of
    (CInt n)      -> pure v
    (CNil)        -> pure v
    (CCons y ys)  -> pure v
    (Fupto a b) ->
      zs <- upto a b
      update p zs
      pure zs
    (Fsum c) ->
      s <- sum c
      update p s
      pure s
```

Datalog áttekintés

Logikai programozás

$$c \vee \neg p_1 \vee \neg p_2 \vee \cdots \vee \neg p_n$$

Logikai programozás

$$c \leftarrow p_1 \wedge p_2 \wedge \cdots \wedge p_n$$

Egyszerű points-to elemzés Datalog-ban

$$\frac{\texttt{Store}(p, n)}{\texttt{Heap}(p, n)} \text{ (H-Store)} \qquad \frac{\texttt{Update}(*, p, n)}{\texttt{Heap}(p, n)} \text{ (H-Update')}$$

A GRIN nyelv Datalog modellje (részlet)

$$\frac{\texttt{p <- store n}}{\texttt{Store}(p, n)}\ \text{(ER-Store)} \qquad \frac{\texttt{n <- fetch p}}{\texttt{Fetch}(n, p)}\ \text{(ER-Fetch)}$$

$$\frac{\texttt{x <- update p n}}{\texttt{Update}(x, p, n)}\ \text{(ER-Update)}$$

$$\frac{\texttt{k <- pure <lit>}}{\texttt{LitAssign}(k, \tau(lit), lit)}\ \text{(ER-Lit)}$$

$$\frac{\texttt{y <- pure x}}{\texttt{Move}(y, x)}\ \text{(ER-Move)}$$

Valódi points-to elemzés Datalog-ban

$$\frac{\mathtt{Store}(p, n)}{\mathtt{Heap}(p, n)} \text{ (H-Store)} \qquad \frac{\mathtt{Update}(*, p, n)}{\mathtt{Heap}(p, n)} \text{ (H-Update')}$$

Valódi points-to elemzés Datalog-ban

$$\frac{\texttt{Store}(p, n)}{\texttt{Heap}(p, n)}\ \text{(H-Store)} \qquad \frac{\begin{array}{c}\texttt{Update}(*, p, n)\\ \texttt{CreatedBy}(p, p')\\ \texttt{Heap}(p', *)\end{array}}{\texttt{Heap}(p', n)}\ \text{(H-Update)}$$

Created-by elemzés (részlet)

$$\frac{\texttt{Node}(n, *)}{\texttt{CreatedBy}(n, n)}\ \text{(C-Node)} \qquad \frac{\texttt{Store}(p, *)}{\texttt{CreatedBy}(p, p)}\ \text{(C-Store)}$$

Created-by elemzés (részlet)

$$\frac{\texttt{Node}(n, *)}{\texttt{CreatedBy}(n, n)} \text{ (C-Node)} \qquad \frac{\texttt{Store}(p, *)}{\texttt{CreatedBy}(p, p)} \text{ (C-Store)}$$

$$\frac{\begin{array}{c}\texttt{Move}(v, n) \\ \texttt{CreatedBy}(n, n')\end{array}}{\texttt{CreatedBy}(v, n')} \text{ (C-Move)} \qquad \frac{\begin{array}{c}\texttt{Fetch}(v, p) \\ \texttt{CreatedBy}(p, p') \\ \texttt{Heap}(p', n) \\ \texttt{CreatedBy}(n, n')\end{array}}{\texttt{CreatedBy}(v, n')} \text{ (C-Fetch)}$$

Strukturális holt-kód eltávolítás

Idris példa

```
length : List a -> Int
length Nil = 0
length (Cons x xs)
  = 1 + length xs
```

$\xRightarrow{\text{DDE}}$

Idris példa

```
length : List a -> Int
length Nil = 0
length (Cons x xs)
  = 1 + length xs
```

$\xRightarrow{\text{DDE}}$

```
length : List a -> Int
length Nil = 0
length (Cons xs)
  = 1 + length xs
```

A generált GRIN kód

```
length : List a -> Int
length Nil = 0
length (Cons x xs)
  = 1 + length xs
```

A generált GRIN kód

```
length : List a -> Int
length Nil = 0
length (Cons x xs)
  = 1 + length xs
```

```
length p =
  xs <- fetch p
  case xs of
    (Cons y ys) ->
      l1 <- length ys
      l2 <- int_add l1 1
      pure l2
    (Nil) ->
      pure 0
```

A generált GRIN kód

```
length : List a -> Int
length Nil = 0
length (Cons x xs)
  = 1 + length xs
```

```
length p =
  xs <- fetch p
  case xs of
    (Cons y ys) ->
      l1 <- length ys
      k1 <- pure 1
      l2 <- int_add l1 k1
      pure l2
    (Nil) ->
      k0 <- pure 0
      pure k0
  pure r
```

A generált GRIN kód

```
length : List a -> Int
length Nil = 0
length (Cons x xs)
  = 1 + length xs
```

```
length p =
  xs <- fetch p
  r <- case xs of
    (Cons y ys) ->
      l1 <- length ys
      k1 <- pure 1
      l2 <- int_add l1 k1
      pure l2
    (Nil) ->
      k0 <- pure 0
      pure k0
  pure r
```

A generált GRIN kód

```
length : List a -> Int
length Nil = 0
length (Cons x xs)
  = 1 + length xs
```

```
length p =
  xs <- fetch p
  r <- case xs of
    (Cons y ys) @ alt1 ->
      l1 <- length ys
      k1 <- pure 1
      l2 <- int_add l1 k1
      pure l2
    (Nil) @ alt2 ->
      k0 <- pure 0
      pure k0
  pure r
```

A GRIN program Datalog reprezentációja

```
length p =
  xs <- fetch p
  r <- case xs of
    (Cons y ys) @ alt1 ->
      l1 <- length ys
      k1 <- pure 1
      l2 <- int_add l1 k1
      pure l2
    (Nil) @ alt2 ->
      k0 <- pure 0
      pure k0
  pure r
```

A GRIN program Datalog reprezentációja

```
length p =
  xs <- fetch p
  r <- case xs of
    (Cons y ys) @ alt1 ->
      l1 <- length ys
      k1 <- pure 1
      l2 <- int_add l1 k1
      pure l2
    (Nil) @ alt2 ->
      k0 <- pure 0
      pure k0
  pure r
```

```
FunParam(length,0,p)
Fetch(xs,p)
Case(r,xs)
Alt(r,alt1,CCons)
AltParam(r,CCons,0,y)
AltParam(r,CCons,1,ys)
Call(l1,length)
CallArgument(l1,0,ys)
LitAssign(k1,Int,1)
Call(l2,int_add)
CallArgument(l2,0,l1)
CallArgument(l2,1,k1)
ReturnValue(alt1,l2)

...
```

Created-by elemzés eredménye

```
length p =
  xs <- fetch p
  r <- case xs of
    (Cons y ys) @ alt1 ->
      l1 <- length ys
      k1 <- pure 1
      l2 <- int_add l1 k1
      pure l2
    (Nil) @ alt2 ->
      k0 <- pure 0
      pure k0
  pure r
```

Var	Producers
p	...
y	...
xs	$Nil[\ldots], Cons[\ldots]$
ys	$Nil[\ldots], Cons[\ldots]$
l1	$\{l2, k0\}$
k1	$\{k1\}$
l2	$\{l2\}$
k0	$\{k0\}$
r	$\{l2, k0\}$

Élőségi elemzés forrásai

$$\frac{\texttt{EntryPoint}(main) \quad \texttt{ReturnValue}(main, x)}{\texttt{LiveSVal}(x)} \text{ (LS-Entry)}$$

$$\frac{\texttt{Call}(y, f) \quad \texttt{CallArgument}(y, *, x) \quad \texttt{External}(f, true, *)}{\texttt{LiveSVal}(x)} \text{ (LS-Ext)}$$

Élőségi elemzés egyéb szabályai (részlet)

$$\frac{\begin{array}{c}\texttt{LiveSVal}(y)\\ \texttt{Move}(y,x)\end{array}}{\texttt{LiveSVal}(x)}\ \text{(LS-Move)}$$

$$\frac{\begin{array}{c}\texttt{LiveNodeArg}(n,t,i)\\ \texttt{Node}(n,t)\\ \texttt{NodeArgument}(n,i,x)\end{array}}{\texttt{LiveSVal}(x)}\ \text{(LS-NodeArg)}$$

$$\frac{\begin{array}{c}\texttt{LiveSVal}(y)\\ \texttt{Call}(y,f)\end{array}}{\texttt{LiveFunRetSimple}(f)}\ \text{(LFS-FunRet)}$$

Az élőségi elemzés eredménye (részlet)

```
length p =
  xs <- fetch p
  r <- case xs of
    (Cons y ys) @ alt1 ->
      l1 <- length ys
      k1 <- pure 1
      l2 <- int_add l1 k1
      pure l2
    (Nil) @ alt2 ->
      k0 <- pure 0
      pure k0
  pure r
```

Az élőségi elemzés eredménye (részlet)

```
length p =
  xs <- fetch p
  r <- case xs of
    (Cons y ys) @ alt1 ->
       l1 <- length ys
       k1 <- pure 1
       l2 <- int_add l1 k1
       pure l2
     (Nil) @ alt2 ->
       k0 <- pure 0
       pure k0
  pure r*
```

Az élőségi elemzés eredménye (részlet)

```
length p =
  xs <- fetch p
  r <- case xs of
    (Cons y ys) @ alt1 ->
      l1 <- length ys
      k1 <- pure 1
      l2 <- int_add l1 k1
      pure l2*
    (Nil) @ alt2 ->
      k0 <- pure 0
      pure k0*
  pure r*
```

Az élőségi elemzés eredménye (részlet)

```
length p =
  xs <- fetch p
  r <- case xs of
    (Cons y ys) @ alt1 ->
      l1 <- length ys
      k1 <- pure 1
      l2* <- int_add l1 k1
      pure l2*
    (Nil) @ alt2 ->
      k0* <- pure 0
      pure k0*
  pure r*
```

Az élőségi elemzés eredménye (részlet)

```
length p =
  xs <- fetch p
  r <- case xs of
    (Cons y ys) @ alt1 ->
      l1* <- length ys
      k1* <- pure 1
      l2* <- int_add l1 k1
      pure l2*
    (Nil) @ alt2 ->
      k0* <- pure 0
      pure k0*
  pure r*
```

Az élőségi elemzés eredménye (részlet)

```
length p =
  xs* <- fetch p
  r <- case xs of
    (Cons y ys) @ alt1 ->
      l1* <- length ys
      k1* <- pure 1
      l2* <- int_add l1 k1
      pure l2*
    (Nil) @ alt2 ->
      k0* <- pure 0
      pure k0*
  pure r*
```

Az élőségi elemzés eredménye (részlet)

```
length p* =
  xs* <- fetch p
  r <- case xs of
    (Cons y ys) @ alt1 ->
      l1* <- length ys
      k1* <- pure 1
      l2* <- int_add l1 k1
      pure l2*
    (Nil) @ alt2 ->
      k0* <- pure 0
      pure k0*
  pure r*
```

Az élőségi elemzés eredménye (részlet)

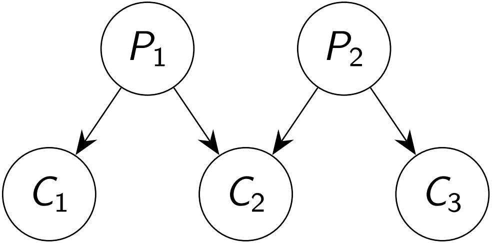
```
length p* =
  xs* <- fetch p
  r <- case xs of
    (Cons y ys*) @ alt1 ->
      l1* <- length ys
      k1* <- pure 1
      l2* <- int_add l1 k1
      pure l2*
    (Nil) @ alt2 ->
      k0* <- pure 0
      pure k0*
  pure r*
```

Az élőségi elemzés eredménye (részlet)

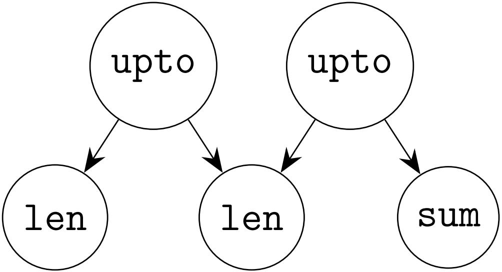
```
length p* =
  xs* <- fetch p
  r <- case xs of
    (Cons y ys*) @ alt1 ->
      l1* <- length ys
      k1* <- pure 1
      l2* <- int_add l1 k1
      pure l2*
    (Nil) @ alt2 ->
      k0* <- pure 0
      pure k0*
  pure r*
```

Var	Liveness
p	$\top$
y	$\bot$
xs	$\mathit{Nil}[], \mathit{Cons}[\bot, \top]$
ys	$\top$
l1	$\top$
k1	$\top$
l2	$\top$
k0	$\top$
r	$\top(\mathit{feltetelezes})$

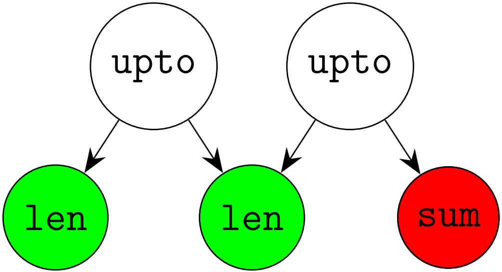
Termelők és fogyasztók



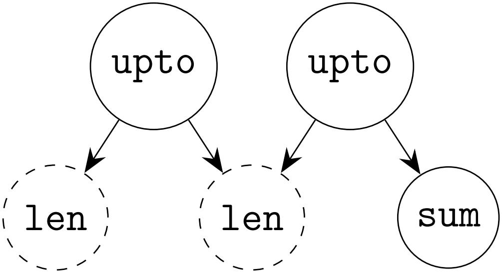
Termelők és fogyasztók



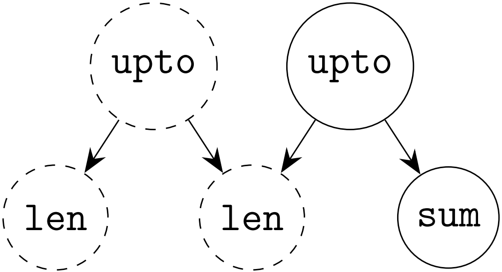
Termelők és fogyasztók



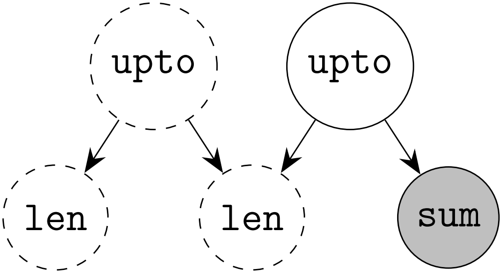
Termelők és fogyasztók



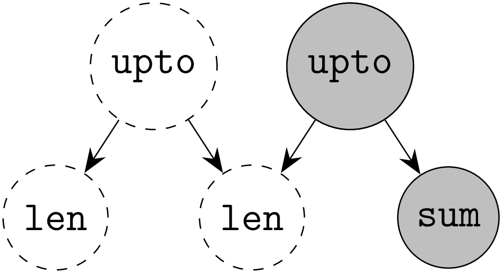
Termelők és fogyasztók



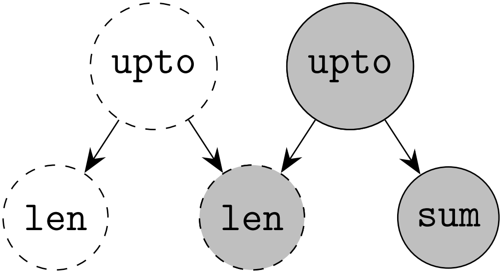
Termelők és fogyasztók



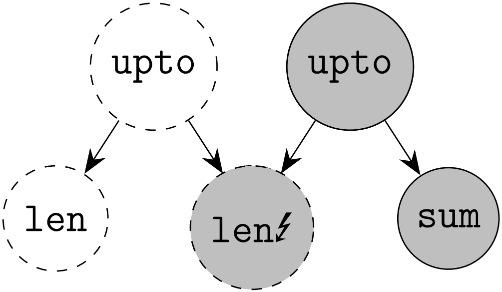
Termelők és fogyasztók



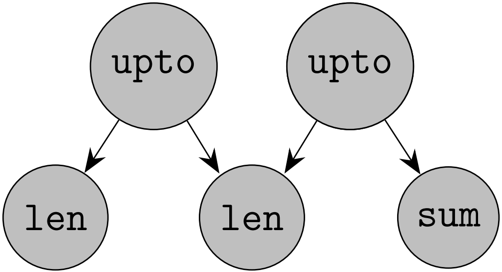
Termelők és fogyasztók



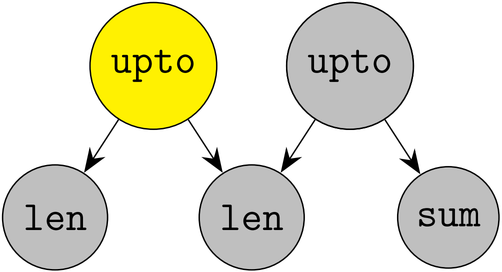
Termelők és fogyasztók



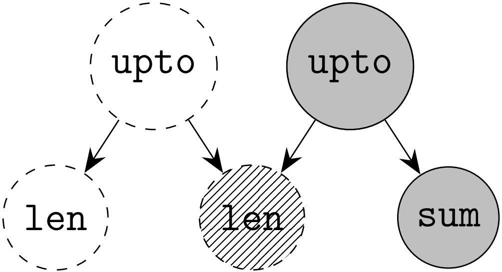
Termelők és fogyasztók



Termelők és fogyasztók



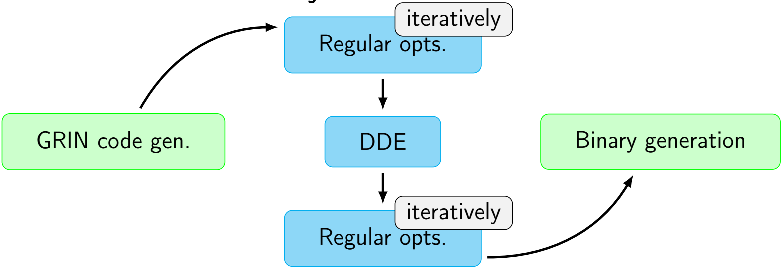
Termelők és fogyasztók



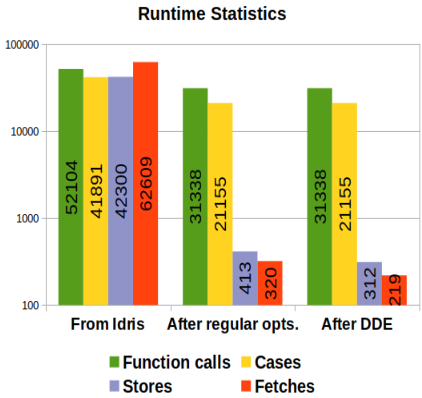
Mérési eredmények

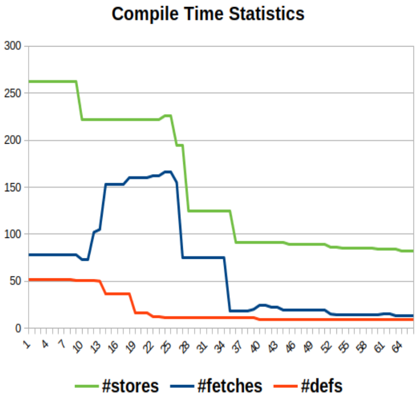
Környezet

- Kis Idris programok:
  Type-driven Development with Idris - Edwin Brady
- Interpretált GRIN programok, és futtatott gépi kód is
- Fordítasi- és futásidejú mérések



Length - GRIN statisztikák

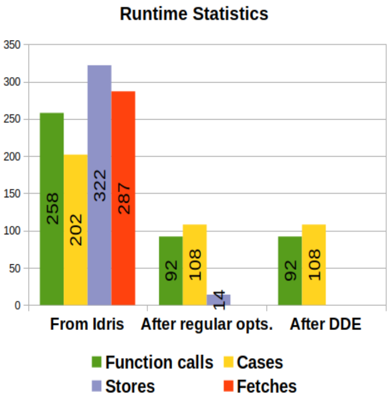


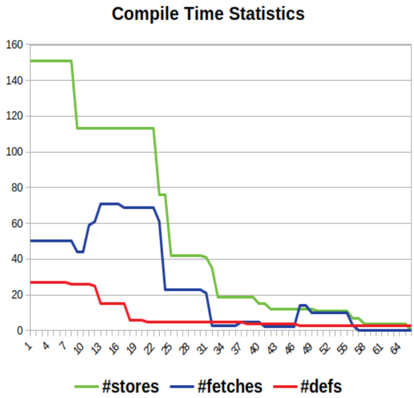


Length - CPU bináris statisztikák

Stage	Size	Inst.	Stores	Loads	Mem.
`idris`	-	2822725	366880	1064977	9440
`normal-O0`	23928	769588	212567	233305	674080
`normal-O3`	23928	550065	160252	170202	674080
`regular-opt`	19832	257397	14848	45499	8200
`dde-O0`	15736	256062	14243	45083	5776
`dde-O3`	15736	284970	33929	54555	5776

Exact length - GRIN statisztikák





Exact length - CPU bináris statisztikák

Stage	Size	Inst.	Stores	Loads	Mem.
idris	-	260393	23320	68334	1888
normal-O0	18800	188469	14852	46566	4112
normal-O3	14704	187380	14621	46233	4112
regular-opt	10608	183560	13462	45214	112
dde-O0	10608	183413	13431	45189	0
dde-O3	10608	183322	13430	44226	0

Összefoglaló

- Újítasok:
  - új szintaxis
  - Datalog modell, Datalog elemzések
  - strukturális holt-kód eltávolítás
- Eredmények:
  - a strukturális holt-kód eltávolítas képes jelentősen csökkenteni a bináris méretét
  - a rendszer jól működik függőtípusos nyelvekre is
  - az optimalizált GRIN kód jelentősen hatékonyabb
  - a GRIN optimalizációk ortogonálisak az LLVM optimalizációkra

EFOP-3.6.2-16-2017-00013

innovation informatics infocommunications
European Union

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

SZÉCHENYI 2020
HUNGARIAN GOVERNMENT
European Union
European Social Fund
INVESTING IN YOUR FUTURE